Phys. Z

MAY 26 1925

Physikalische Zeitschrift

begründet von E. Riecke und H. Th. Simon

vereinigt mit dem

Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik

begründet von Johannes Stark

Herausgeber:

Prof. Dr. **P. Debye**, Prof. Dr. **F. Harms** und Prof. Dr. **R. Seeliger**

Die Physikalische Zeitschrift erscheint monatlich zweimal im Umfange von drei bis vier Bogen und wird vierteljährlich für Goldmark 11.20 postfrei geliefert. Für das Ausland beträgt der Preis $ 3.— vierteljährlich. Für die Mitglieder der Deutschen Physikalischen Gesellschaft im Inland Goldmark 9.20, im Ausland $ 2.60. Bestellungen nehmen jede Buchhandlung sowie die Verlagsbuchhandlung entgegen. Anzeigen werden für die einmal gespaltene Millimeterzeile mit Goldmark —.30, Beilagen mit Goldmark 60.— berechnet.

Alle Manuskripte und darauf bezügliche Zuschriften sind an Prof. Dr. F. Harms, Würzburg, Bismarckstr. 1, zu senden, mit Ausnahme der zusammenfassenden Berichte, deren Redaktion Prof. Dr. R. Seeliger, Greifswald, Loitzerstr. 43, führt. Büchersendungen und Anzeigen-Aufträge direkt an den Verlag.

No. 8. Ausgegeben am 30. April 1925. No. 684. Printed in Germany. 26. Jahrgang.

INHALT:

Originalmitteilungen:

Joh. Thiele, Thermoströme bei Elektrolyten.

W. Steubing, Über ein einfaches spektroskopisches Hilfsmittel bei Arbeiten im sichtbaren und ultravioletten Spektrum.

J. Kudar, Über die atomdynamische Deutung der Uhrenhypothese.

J. Kudar, Allgemeiner Beweis der Atomuhr mit Hilfe der Hamilton-Jacobischen Theorie.

Zusammenfassende Berichte:

Chr. v. Hofe, Stereoskopisches Sehen.

Besprechungen:

J. Wiesent, Die Elektrizität auf Grund der jüngsten Forschungsergebnisse.

H. Zlamal, Das Verhältnis der Einsteinschen Relativitätstheorie zur exakten Naturforschung.

Personalien. Angebote. Gesuche.

VERLAG VON S. HIRZEL IN LEIPZIG

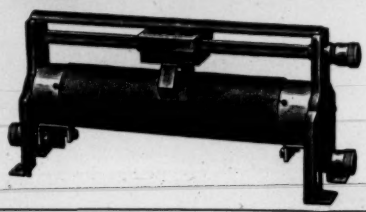
Spindler & Hoyer G. m. b. H.

Mechanische und optische Werkstätten

Göttingen 3.

Apparate für luftelektrische
und radioaktive Messungen
Erdbebenregistrierapparate
Normalbatterien
Kondensatoren
Mikrowage
Quarzfadenelektroskop
nach Wiechert
(siehe Abbildung).

PHYWE-Gleitwiderstände



Absolut zuverlässig
Denkbar einfach — Unerreicht billig
Verlangen Sie Liste PZW.

Physikalische Werkstätten A.-G.
Göttingen

Einbanddecken zur Physikalischen Zeitschrift 1924

sind vorrätig und können zum Preise von G.-M. 4.— durch jede Buchhandlung oder direkt vom Verlag **S. Hirzel** in **Leipzig,** Königstraße 2 bezogen werden.

PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

No. 8. 15. April 1925. Redaktionsschluß für No. 10 am 5. Mai 1925. 26. Jahrgang.

INHALT:

Originalmitteilungen:

Joh. Thiele, Thermoströme bei Elektrolyten. S. 321.

W. Steubing, Über ein einfaches spektroskopisches Hilfsmittel bei Arbeiten im sichtbaren und ultravioletten Spektrum. S. 329.

J. Kudar, Über die atomdynamische Deutung der Uhrenhypothese. S. 331.

J. Kúdar, Allgemeiner Beweis der „Atomuhr" mit Hilfe der Hamilton-Jacobischen Theorie. S. 334.

Zusammenfassende Berichte:

Chr. v. Hofe, Stereoskopisches Sehen. S. 334.

Besprechungen:

J. Wiesent, Die Elektrizität auf Grund der jüngsten Forschungsergebnisse. S. 343.

H. Zlamal, Das Verhältnis der Einsteinschen Relativitätstheorie zur exakten Naturforschung. S. 344.

Personalien. S. 344.

Angebote. S. 344. **Gesuche.** S. 344.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Thermoströme bei Elektrolyten.

Von Joh. Thiele.

§ 1.

Elektrolytische Thermoketten sind bereits von einer Reihe von Forschern untersucht worden. Ich erwähne hier die Arbeiten von Nernst[1]) und Duane[2]), da ich auf diese später Bezug nehmen muß. Ersterer kommt zu dem Ergebnis, daß die elektrolytische Lösungstension der *Hg*-Elektroden mit der Temperatur steigt, was auch nach der Analogie zu erwarten ist, da die Dampfspannung stets und die Löslichkeit in der Regel mit der Temperatur zunimmt. Duane, der sehr eingehend die elektroiytischen Thermoketten untersucht hat, findet, daß die von Nernst theoretisch abgeleitete Formel für Ketten von der Form:

$$\text{Lösung I} \;/_{c_1}\; \text{Lösung II} \;/_{c_2}\; \text{Lösung I}$$

wenn Lösung I und II dieselbe gelöste Substanz enthalten, aber verschieden konzentriert sind, durch die Versuche sehr gut bestätigt wird. Es stehen dagegen die Versuche mit der von Planck gegebenen Theorie im Widerspruch, wenn Lösung I und II verschieden gelöste Substanzen, aber von derselben Konzentration enthalten. Da die Planncksche Theorie für eine Temperatur experimentell bestätigt ist, so bleibt nach Duane nichts andres übrig, als anzunehmen, daß andere elektromotorische Kräfte in der Kette wirken, welche nicht an der Trennungsfläche ihren Sitz haben. Diese elektromotorischen Kräfte können nur in dem Temperaturgefälle der beiden Lösungen wirken. Da die Theorie des osmotischen Druckes und die Wanderung der Ionen diese elektrischen Kräfte nicht erklären, so nimmt Duane an, daß Kräfte auf die Ionen wirken, welche der Temperaturdifferenz zuzuschreiben sind und durch die Ausdrücke

$$K' \frac{dT}{dx} \quad \text{und} \quad K'' \frac{dT}{dx}$$

in der Gleichung für die Bewegung der Ionen dargestellt werden können. Diese Theorie quantitativ zu bestätigen gelang aber nicht. Auf die nicht umkehrbaren Ketten lassen sich die Nernstschen Gleichungen zur Berechnung der elektromotorischen Kraft nicht benutzen. Immerhin finden doch die allgemeinen Prinzipien der osmotischen Theorie auch auf diese Ketten Anwendung, wenn es gilt die Entstehung des galvanischen Stromes zu erklären und seine Richtung vorauszusagen.

Für die umkehrbaren Konzentrationsketten gilt bekanntlich die Gleichung:

$$\pi = -0{,}0002\, \frac{i}{u} \cdot \frac{v}{u+v}\, T \log \frac{p_1}{p_2} \text{ Volt},$$

wo i der van't Hoffsche Faktor, u die Wertigkeit, v die Geschwindigkeit der Ionen und p_1 und p_2 die osmotischen Drucke bedeuten. Da p_1 und p_2 bei verschiedenen Lösungen den Konzentrationen c_1 und c_2 proportional sind, so führt man häufig diese in die Gleichung ein. Das Minuszeichen bedeutet, daß innerhalb der Konzentrationskette der Strom von der verdünnten zur konzentrierten Lösung geht, so daß die Elektrode der letzteren Kathode, die der ersteren Anode wird.

Wenn wir nun die Nernstsche Theorie auf die nicht umkehrbaren Ketten übertragen, so

1) Phys. Chem. **4**, 119, 1889.
2) Ann. d. Physik **65**, 374, 1898.

läßt sich Folgendes voraussagen. Denken wir uns eine Salzlösung zwischen zwei unangreifbaren Elektroden und erhitzen die eine Stelle, so nimmt hier der osmotische Druck der Ionen zu, und es muß sich also eine solche Kette verhalten, als ob hier die Konzentration größer ist. Der Strom muß also verlaufen wie bei einer Konzentrationskette. Die später mitzuteilenden Versuche bestätigen dies. Ganz andere Verhältnisse hat man aber zu erwarten bei festen Elektrolyten. Aus den Untersuchungen von Tubandt[1]) und seinen Schülern und von G. C. Schmidt[2]) geht hervor, daß bei den festen Salzen fast immer nur das positive Ion wandert. G. C. Schmidt hat dieses erklärt, indem er annahm, daß die Salze, wie das beim Cadmiumjodid, Zinkjodid usw. in wässeriger Lösung nachgewiesen ist, in größere Aggregate, z. B. $(CdJ)_n$, zerfallen, die in Cd^+ und $Cd_{n-1}J_{2n}^-$ dissoziieren, von denen allein das leicht bewegliche Cd Ion wandert, während der große negative Rest seine Lage beibehält. Bilden wir nun eine Kette mit festen Salzen, z. B.

$$\underset{\text{heiß}}{PtCdJ_2} \,/\, \underset{\text{kalt}}{CdJ_2Pt},$$

so ist Folgendes zu erwarten. Die Lösungstension des Platins als einer unangreifbaren Elektrode ändert sich nicht. Die Dissoziation ist an der heißen Stelle größer, infolgedessen ist der osmotische Druck der Ionen hier größer als an der kalten Lötstelle. Da die experimentell festgestellte Zunahme der Leitfähigkeit aber zum größten Teil von der Abnahme der inneren Reibung herrührt, so ist die Zunahme der Dissoziation, wenn wir keine großen Temperaturdifferenzen wählen, zu vernachlässigen. Die Wärme fließt von den Stellen höherer Temperatur zu den Stellen niederer Temperatur. Da bei den festen Elektrolyten diese Wärmebewegung fast ausschließlich durch die leicht beweglichen positiven Ionen geschieht, so ist zu erwarten, daß hier der positive Strom durch den Elektrolyten von der heißen Lötstelle zur kalten fließen wird, also gerade entgegengesetzt wie bei den Lösungen. Die Analogie zu der Anschauung von Duane liegt auf der Hand. Die nachfolgende Arbeit wurde unternommen, um diese Theorie zu prüfen.

§ 2. Versuchsanordnung.

Ich beginne mit der Beschreibung zur Messung der Thermokräfte bei den festen Elektrolyten. Als Unterlagen für die Salze mußten gute Isolatoren benutzt werden, die auch bei höherer Temperatur nicht leiteten. Versuche, die ich mit Glas, Glimmer, und ausgeglühtem Porzellan anstellte, scheiterten; sie gaben alle auch ohne draufgebrachtes Salz, wenn man die eine Kontaktstelle erwärmte und die andere auf Zimmertemperatur ließ, E.M.K., die der Größenordnung nach vergleichbar waren mit denen, welche ich erhielt, wenn Salze darauf gebracht wurden. Bädeker[1]) hat bei seinen analogen Versuchen Glas und Glimmer benutzt; allerdings hat er seine Präparate nur bis 100° C erhitzt. Bei dieser Temperatur waren wohl Glas und Glimmer genügend isoliert. Ich übergehe daher diese Versuche. Zum Ziel kam ich erst, als ich Quarz anwandte, das von der Firma Ulbrich in Jena bezogen wurde, und das selbst bei hohen Temperaturen vorzüglich isolierte. Die Quarzplättchen hatten eine Länge von 250 mm und eine Dicke von 1,5 mm. Diese Länge wurde gewählt, damit, wenn das eine Ende im elektrischen Ofen erhitzt wurde, das andere sicher die niedere Temperatur besaß. Die Herstellung dünner Salzschichten (S) auf denselben erfolgte durch Eintauchen in das durch Erhitzung flüssig gemachte Salz. Auf die Salze wurden an beiden Enden dünne Platinbleche gepreßt, an die zur Weiterleitung des elektrischen Stromes Platindrähte geschweißt waren. Auf die Platinbleche wurden zur Isolation dünne Quarzblättchen (von 2 mm Dicke und 10 mm Länge) gebracht, und das Ganze dann analog wie bei Bädeker[1]) durch Kupferklemmen zusammengepreßt. Das Kupfer wurde von dem Platin durch das Quarz isoliert, damit die Thermokräfte Pt/Cu das Resultat nicht fälschten. Die Einzelheiten der Versuchsanordnung zeigt Fig. 1. I bedeutet der Isolator.

Die Weiterleitung der Platindrähte erfolgte bis zu den Quecksilbernäpfchen (K_2 und K_3), die in Gebieten konstanter Temperatur lagen, damit keine Kontaktkräfte zwischen Kupfer und Platin auftreten konnten. Das Quecksilbernäpfchen K_3 war geerdet, das andere K_2 mit einem Quadrantelektrometer von Dolezalek verbunden, dessen Empfindlichkeit 1300 Skt. pro Volt betrug. Die Erdung des Quadranten Q_1 geschah durch den Schlüssel K_1. Um die eine Kontaktstelle des Thermoelementes zu erhitzen, wurde anfangs wie bei Bädeker[2]) ein Glasgefäß benutzt, das im unteren Raume mit Paraffinöl gefüllt war und bis auf 200° C erwärmt werden konnte, während der obere Teil durch eine Holzplatte von dem unteren getrennt durch einen durchgetriebenen Luftstrom dauernd

1) E. Tubandt u. E. Lorenz, Zeitschr. f. phys. Chem. **87**, 522, 1914; E. Tubandt u. Eggert, Zeitschr. f. anorg. Chem. **115**, 105, 1921.
2) Schmidt, Ann. d. Physik **75**, 359, 1924.

1) Ann. d. Physik **22**, 755, 1907.
2) Ann. d. Physik **22**, 756, 1907.

auf Zimmertemperatur erhalten wurde. Da ich aber mit dieser Versuchsanordnung keine guten Resultate erzielte, so trat an Stelle dieses Glasgefäßes ein kleiner elektrischer Ofen, der es ermöglichte, auch bei höheren Temperaturen

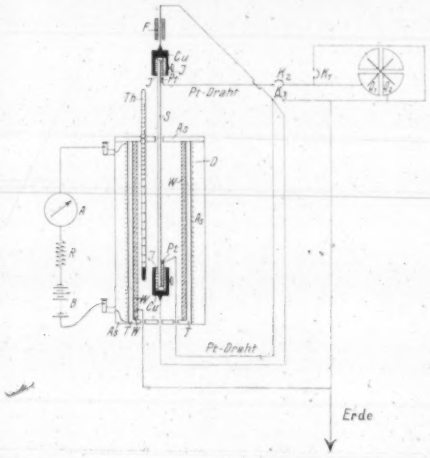


Fig. 1.

elektrostatischfreie Messungen zu erzielen. Der Heizstrom wurde durch den Widerstand (R) und das Ampèremeter (A) reguliert. In den Figuren 1 und 2 bedeuten: As = Asbest, D = Heizspirale und T = Tonzylinder. Im Innern des elektrischen Ofens befand sich als elektro-

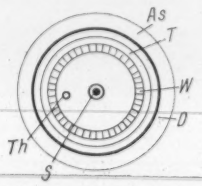


Fig. 2.

statischer Schutz eine geerdete Wand (W) aus Eisenblech. Die Temperatur des Ofens wurde mit Hilfe eines Thermometers (Th) gemessen, das in der Nähe der zu erhitzenden Kontaktstelle des Präparates angebracht war, aber so, daß keine Berührung mit dem Präparat stattfand. Das Präparat selbst wurde gehalten durch einen Kupferdraht, der geführt durch ein Bernsteinstück (F) geerdet wurde. Die Messung der Temperatur der zweiten Kontaktstelle außerhalb des Ofens (im Gegensatz zu der erhitzten kalten genannt) geschah mit Hilfe eines Thermometers.

Die ganze Anordnung befand sich in einem elektrostatisch geschützten Drahtkäfig. Die mit Hg gefüllten Näpfchen waren in Bernstein eingelassen und die Zuleitungsdrähte bis zum Elektrometer isoliert. Mit Hilfe dieses elektrostatischen Schutzes war es möglich, das Elektrometer trotz der Empfindlichkeit von 1300 Skt. pro Volt 10—12 Stunden im offenen Zustande zu lassen, ohne den geringsten Ausschlag zu erhalten. Diese Bedingung war erforderlich, da im andern Falle während der 4—5 stündigen Dauer der Untersuchung elektrostatische Aufladungen erfolgten, die eine genaue Messung der Thermokraft erschwerten.

Die Messung der Thermokräfte der einzelnen Präparate gegen Platin ging nun folgendermaßen vor sich. Zunächst wurde das Präparat an den beiden Kontaktstellen mit Hilfe der Kupferbügel festgeklemmt und in die Versuchsanordnung gebracht, so daß die eine Kontaktstelle innerhalb, die andere außerhalb des elektrischen Ofens sich befand. Die kalte Lötstelle stand in Verbindung mit dem Elektrometer, die heiße mit der Erdleitung. Dann wurde die konstante Potentialdifferenz bei gleichen Temperaturen der beiden Kontaktstellen gemessen.

Der elektrische Ofen wurde auf die bestimmte Temperatur gebracht. Darauf wurde der Heizstrom abgestellt und die Zuleitungsdrähte geerdet, um vor elektrostatischen Einflüssen sicher zu sein. Jetzt erst erfolgte nach Aufhebung der Erdleitung des Quadranten Q_1 durch den Schlüssel K_1 die thermoelektrische Messung. Bis zum Abschluß des Versuches, d. h. bis keine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Kontaktstellen vorhanden war, blieb das Elektrometer im offenen Zustande, gewöhnlich 4—5 Stunden. Die Potentialdifferenz bei Zimmertemperatur vor und nach der Erhitzung des Präparates stimmten in den meisten Fällen überein. Kleine Änderungen kamen mitunter vor, die wahrscheinlich darauf zurückzuführen sind, daß durch die Erhitzung eine geringe Menge von Salzen verdampft und dadurch eine schwach leitende Brücke zwischen Platin und Kupfer hergestellt war. Für die nachfolgenden Messungen kommen sie nicht in Betracht, da sie im Vergleich zu den gemessenen Thermokräften stets verschwindend klein waren. Die konstante Anfangspotentialdifferenz wurde bei jedem Thermoelemente eliminiert. Es war nicht möglich bei steigenden Temperaturen Messungen der Thermokräfte auszuführen, da die elektrostatischen Einflüsse des Heizstromes von Einfluß

waren. Deshalb wurden nur bei fallenden Temperaturen die Elektrometerausschläge gemessen.

§ 3. Thermoelektrische Untersuchungen an festen Salzen.

Im folgenden gebe ich aus einer ganzen Anzahl von thermoelektrischen Messungen einen kurzen Auszug. Vorausschickend möchte ich bemerken, daß es bei meinen Untersuchungen nicht so sehr auf die Abhängigkeit der Thermokraft von der Temperaturdifferenz ankommt, sondern in der Hauptsache auf die Richtung des Thermostromes. Aber trotzdem tritt die Abhängigkeit der Thermokraft von der Temperaturdifferenz bei einzelnen Präparaten gut zutage, wie aus den folgenden Kurven zu ersehen ist.

a) Halogensalze des *Cd*.

In den nachfolgenden Tabellen bedeuten: A die Ausschläge des Elektrometers, t_1^0 und t_2^0

Tabelle I.

CdJ_2

$E = 1300$ Sek. pro Volt

I. a) A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt/Grad	I. b) A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt/Grad	II. A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt/Grad
	310					315					300			
259	292	52	240	83,—	306	312	51	261		287	292	67	225	
254	285	49	236	82,8	291	300	50	250		270	285	67	218	
238	265	46	219	83,6	281	290	48	242		238	258	63	195	
229	255	44	211	83,5	258	272	46	226		224	225	61	164	Mittelwert:
210	240	43	197	82,—	254	265	44	221		200	175	50	125	136,6
197	230	43	187	81,1	226	246	43	203	Mittelwert:	160	110	40	70	
179	210	42	168	82,7	200	226	41	185	84,6	135	95	37	58	
160	190	41	149	82,6	180	208	39	169		89	67	30	37	
150	180	41	139	83,1	163	190	38	152		50	52	28	24	
140	170	40	130	82,9	143	165	55	130		0	18	18	0	
96	125	33	92	80,3	110	133	33	100						
0	18	18	0	Mittelwert:	30	64	29	35						
				82,5	9	45	24	21						
					0	18	18	0						

Tabelle II.

$CdBr_2$

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

I. a) A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt/Grad	I. b) A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt/Grad
	310					290			
225	270	48	222	78,—	268	285	50	235	
198	244	45	199	76,6	265	277	50	227	
187	235	45	189	76,2	255	263	49	214	
161	202	42	160	77,4	245	257	49	208	
109	150	37	118	71,1	235	242	47	195	
76	120	33	87	65,7	215	225	45	180	
58	80	28	52	85,8	185	207	44	163	
14	40	23	17	63,3	155	187	42	145	
0	18	18	0	74,8	145	179	41	138	Mittelwert:
				Mittelwert	125	159	39	120	93,4
					95	135	37	98	
					79	105	35	70	
					70	88	28	60	
					67	80	28	52	
					65	72	28	44	
					41	54	26	28	
					30	48	25	23	
					0	18	18	0	

Tabelle III.

$CdCl_2$

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt/Grad
	310			
333	335	53	282	
251	305	51	254	
237	290	48	242	
221	275	48	227	
191	238	47	191	
182	220	44	176	Mittelwert:
176	200	42	158	105,8
160	160	39	121	
140	136	36	100	
120	105	33	72	
70	68	28	40	
62	65	28	37	
27	50	26	24	
0	17	17	0	

die Temperaturen der erhitzten bzw. der kalten Kontaktstellen, $D = t_1^0 - t_2^0$ die Temperaturdifferenz und $\frac{dA}{dT}$ die Thermokraft pro Grad. Die erste Zeile unter der Spalte t_1^0 gibt jedesmal an, auf welche Temperatur das betreffende Präparat erhitzt wurde. I. a) u. b) bedeutet, daß mit demselben Präparate zwei Messungen ausgeführt wurden (siehe CdJ_2 und $CdBr_2$). Die Kurven stellen die Abhängigkeit der Thermokraft von der Temperaturdifferenz dar.

Aus den Messungen ergibt sich, daß:

1. Der Thermostrom bei allen Halogensalzen des Cd dieselbe Richtung hat. Der positive Strom fließt durch den Elektrolyten von der heißen zur kalten Kontaktstelle.

2. Die Thermokraft annähernd proportional der Temperaturdifferenz ist mit einigen Abweichungen, die auf die Ungenauigkeit der Meßmethode zurückzuführen sind.

b) Halogensalze des Pb.

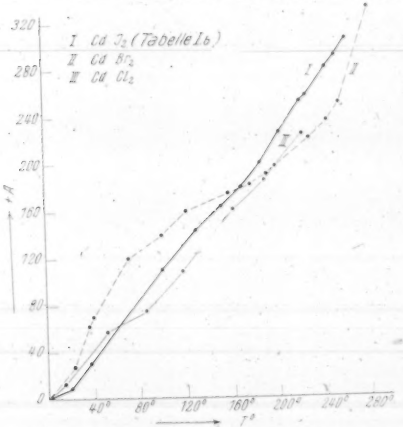


Fig. 3.

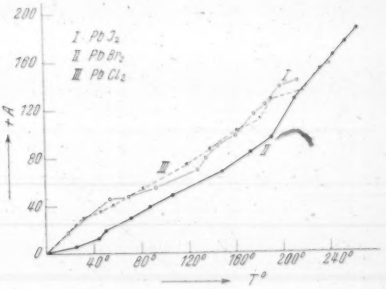


Fig. 4.

Tabelle IV.

PbJ_2

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt Grad
	310			
145	260	45	215	51,9
140	240	40	200	53,9
125	220	38	188	54,1
117	215	37	178	50,6
98	200	39	161	49,8
90	180	34	146	47,4
80	170	34	136	45,3
75	164	36	128	45,1
55	123	30	93	45,5
48	100	30	70	52,7
46	91	28	63	56,2
14	40	21	19	56,7
0	18	18	0	
				50,3 Mittelwert

Tabelle V.

$PbBr_2$

$E = 1300$ Sek. pro Volt

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt Grad
	310			
187	304	38	266	
177	293	36	257	
165	281	36	245	
129	245	33	212	
98	225	33	192	
84	205	31	174	Mittelwert:
68	180	30	150	37,—
49	135	28	107	
39	113	26	87	
29	95	24	71	
14	73	23	50	
13	67	23	44	
5	47	22	25	
0	18	18	0	

Tabelle VI.

$PbCl_2$

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt Grad
	305			
159	300	58	242	
155	290	56	234	
130	275	55	220	
129	263	51	212	
112	230	48	182	
102	210	48	162	
86	186	44	142	Mittelwert:
74	160	41	119	52,9
55	116	34	82	
41	87	30	57	
36	75	29	46	
31	66	28	38	
30	60	28	32	
0	18	18	0	

Das Resultat dieser Messung ist dasselbe wie bei den Halogensalzen des Cadmiums. Hierbei tritt deutlich die lineare Abhängigkeit der Thermokraft von der Temperaturdifferenz hervor. Die Richtung des Thermostromes ist bei allen Präparaten dieselbe wie bei den Halogensalzen des Cadmiums.

c) Halogensalze des *Th*.

Tabelle VII.

ThI

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt Grad
	320			
225	315	50	265	
223	307	47	260	
213	287	47	240	
175	271	46	225	
135	256	46	210	Mittelwert:
125	250	46	204	52.2
84	200	41	159	
57	160	37	123	
48	140	35	105	
32	74	29	45	
0	18	18	5	

Tabelle VIII.

ThBr

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt Grad
	310			
317	305	65	240	
290	284	64	220	
276	262	58	204	
257	227	57	170	
243	196	50	146	
232	174	44	130	
220	164	44	120	Mittelwert:
190	140	40	100	117.—
146	117	36	81	
111	100	33	67	
92	92	32	60	
52	74	30	44	
40	60	28	32	
0	18	18	0	

Tabelle IX.

ThCl

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt Grad
	310			
110	298	58	240	
98	271	56	215	
76	234	54	180	
60	205	51	154	
45	179	49	130	Mittelwert:
30	144	44	100	24.1
20	120	40	80	
13	99	37	62	
10	84	33	51	
6	67	28	39	
0	18	18	0	

Die Ergebnisse sind analog denen der Halogensalze des *Cd* und *Pb*.

d) Halogensalze des *Ag* und *Cu*.

Hierbei wurde nur AgJ und Cu_2J_2 untersucht.

Tabelle X.

Cu_2J_2

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt Grad
	310			
122	306	36	270	
117	290	35	255	
115	277	32	245	
109	255	30	225	
104	243	30	213	
100	230	28	202	
94	216	28	188	
83	192	26	166	
75	175	26	149	Mittelwert:
53	129	25	104	37.9
43	113	23	90	
39	100	22	78	
29	82	22	60	
24	70	22	48	
21	60	21	39	
18	55	20	35	
17	52	20	32	
0	18	18	0	

Tabelle XI.

AgJ

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5}$ Volt Grad
	360			
45	345	105	240	
45	326	103	223	
43	200	90	210	
45	362	72	190	
45	215	60	155	
43	195	55	140	
39	180	54	126	Mittelwert:
37	170	52	118	20.—
25	141	48	93	
24	130	44	86	
23	120	41	81	
20	110	38	72	
18	90	30	60	
17	85	31	54	
0	18	18	0	

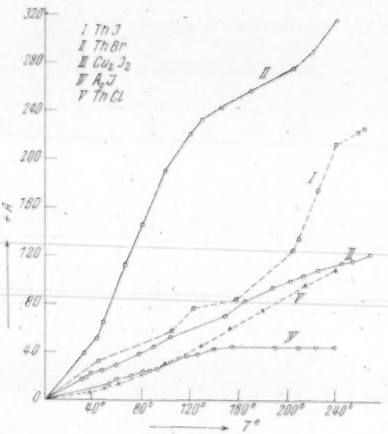


Fig. 5.

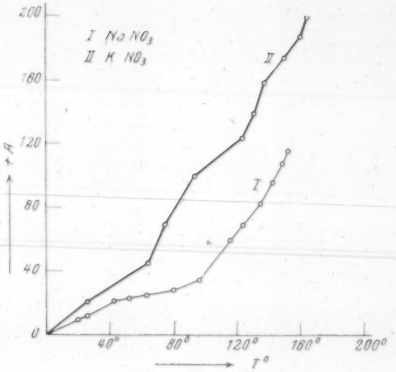


Fig. 6.

Die Untersuchungen ergeben in bezug auf die Richtung des Thermostromes und der linearen Abhängigkeit der Thermokraft von der Temperaturdifferenz dieselben Ergebnisse wie bei *Th*.

e) $NaNO_3$ und KNO_3.

Tabelle XII.

$NaNO_3$

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	$t_1°$	$t_2°$	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5} \frac{\text{Volt}}{\text{Grad}}$
	215			
117	212	60	152	
115	210	60	150	
108	209	60	149	
97	200	58	142	
83	185	50	135	
70	172	48	124	
60	163	47	116	Mittelwert:
35	133	37	96	41.9
28	117	37	80	
25	98	35	63	
23	84	31	53	
21	70	28	42	
11	50	25	25	
10	45	25	20	
0	19	19	0	

Tabelle XIII.

KNO_3

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	$t_1°$	$t_2°$	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5} \frac{\text{Volt}}{\text{Grad}}$
	236			
200	233	49	184	
188	228	48	180	
175	215	45	170	
160	180	42	138	
140	170	39	131	Mittelwert:
125	162	38	124	76,1
100	124	31	93	
70	108	31	76	
45	95	31	65	
20	50	25	25	
0	18	18	0	

Der Thermostrom hat dieselbe Richtung wie bei den vorhergehenden Halogensalzen.

f) Halogensalze des *Hg*.

Untersucht wurden $HgCl_2$ und HgJ_2. Diese Präparate zeigten keine Thermoströme bei der Empfindlichkeit des Elektrometers von 1300 Sek. pro Volt, also auch keine Aufladungen.

Das Ergebnis dieses Abschnittes ist, daß:

1. Die Halogensalze des *Cd*, *Pb*, *Th*, *Ag* und *Cu*, außerdem $NaNO_3$ und KNO_3 dieselbe Richtung des Thermostromes besitzen;

2. die Thermokraft im großen und ganzen proportional der Temperaturdifferenz ist und

3. die Halogensalze des *Hg* keinen Thermostrom aufweisen.

Die Richtung des Stromes ist somit in allen Fällen die erwartete. Indem das leicht bewegliche positive Ion von Stellen höherer Tem-

Tabelle XIV.

InH_2O gelöst: $CuSO_4$

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5} \frac{\text{Volt}}{\text{Grad}}$
	92			
— 161	90	25	65	
— 140	83	25	58	
— 109	68	23,5	44,5	
— 93	62	23,2	38,8	Mittelwert:
— 79	58	22,8	35,2	177,5
— 70	52	22,5	29,5	
— 52	44	22	22	
— 28	34,5	21,5	13	
— 17	29	21,2	7,8	
— 0	18	18	0	

Tabelle XV.

HNO_3

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5} \frac{\text{Volt}}{\text{Grad}}$
	95			
— 95	93	28	65	
— 80	82	27,5	54,5	
— 71	77	26,5	50,5	
— 65	72	26	40,—	Mittelwert:
— 60	67	25,5	41,5	112,3
— 56	64	25,0	39,—	
— 52	60	24,5	35,5	
— 40	49	23	26,—	
— 15	30	20	10,—	
0	18	18	0	

Tabelle XVI.

InH_2O gelöst: CdI_2

$E = 1300$ Sek. pro Volt.

A	t_1^0	t_2^0	D	$\frac{dA}{dT} \cdot 10^{-5} \frac{\text{Volt}}{\text{Grad}}$
	85			
— 60	80	25	55	
— 40	59	23,6	35,4	
— 32	47	22,8	24,2	Mittelwert:
— 18	36	22,2	13,8	96,2
— 15	32	22	10,—	
— 6	24	21,4	2,6	
0	18	18	0	

peratur zu den Stellen tieferer Temperatur wandert, fließt der positive Strom in derselben Richtung.

Die Quecksilbersalze geben dagegen keine Thermokraft. Dies stimmt mit den Untersuchungen von G. C. Schmidt[1]) überein, der nachgewiesen hat, daß diese Salze bei der Versuchstemperatur keine Ionen aussenden. Höhere Temperaturen anzuwenden verbot sich, da die Salze dann verdampfen. Wie G. C. Schmidt[1]) nachgewiesen, senden $BaCl_2$ und $PbCl_2$ neben den positiven Ionen auch negative Ionen bei höheren Temperaturen aus; interessant wäre es gewesen, diese Salze bei denselben Temperaturen auf Thermokräfte zu untersuchen. Leider verbot sich dies, da das Quarz leitend wurde und dadurch sehr große Fehler in die Meßreihen kamen.

§ 4. Vergleich der thermoelektrischen Untersuchungen mit nicht umkehrbaren Konzentrationsketten.

Wie in der Einleitung erwähnt, war bei flüssigen Salzlösungen die entgegengesetzte Richtung des Stromes zu erwarten. Um dies zu prüfen, wurden die folgenden Versuche gemacht. Die Versuchsanordnung war folgende:

In zwei kleine Bechergläser, die mit einem rechtwinklig gebogenen Heber in Verbindung standen und mit einer Flüssigkeit von gleicher Konzentration gefüllt waren, wurden zwei Platinelektroden getaucht. Die eine Elektrode war geerdet, die andere mit dem Elektrometer verbunden, analog den Untersuchungen bei festen Salzen. Die Temperatur wurde mit Thermometern gemessen, die in die Flüssigkeiten eingetaucht waren. Zur Messung der Thermokräfte Platin/Elektrolyt wurde das eine Becherglas mit der Platinelektrode auf eine bestimmte Temperatur erhitzt. Nach Erhitzung erfolgte bei fallender Temperatur die thermoelektrische Messung. Untersucht wurden die aus der Tabelle XVII ersichtlichen Salze und Säuren. Einige Beobachtungsreihen sind in den Tabellen XIV, XV und XVI mitgeteilt.

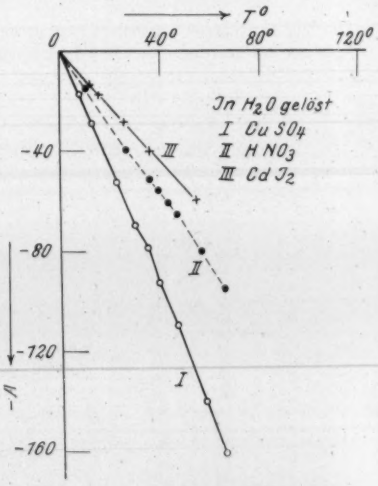


Fig. 7.

Aus den Tabellen und der Kurve 7 geht hervor, daß die Thermokraft proportional der Temperaturdifferenz ist. Dieses Ergebnis finden wir bei Ebeling[1]) bestätigt.

Tabelle XVII stellt die thermoelektrischen Untersuchungen der beiden Abschnitte der festen (I.) und flüssigen (II.) Salze und Säuren

1) Ann. d. Physik **75**, 346, 1924.

1) Wied. Ann. d. Physik **30**, 516, 1887.

Tabelle XVII.

Gleicher Konzentration.
($C_1 = C_2$).

	Salze in H_2O gelöst und Säuren	Aufladung (kalte Lötstelle)	Aufladung (heiße Lötstelle)
I.	1. $CuSO_4$	−	+
	2. CdJ_2	−	+
	3. $CdBr_2$	−	+
	4. KCl, normal	−	+
	„ $^1/_{10}$ normal	−	+
	5. HNO_3	−	+
	6. H_2SO_4	−	+
	7. CH_3COOH, normal	−	+
	„ $^1/_{10}$ normal	−	+
	Salze$_{fest}$		
II.	CdJ_2, $CdBr_2$, $CdCl_2$	+	−
	PbJ_2, $PbBr_2$, $PbCl_2$	+	−
	Cu_2J_2	+	−
	$AgCl$	+	−
	ThJ, $ThBr$, $ThCl$	+	−
	$NaNO_3$, KNO_3	+	−
	HgJ_2, $HgCl_2$	0	0

nebeneinander. Man erkennt, daß die Thermoströme in beiden Fällen eine verschiedene Richtung haben, wie es die in der Einleitung mitgeteilte Theorie erwarten ließ.

Ergebnisse der Untersuchungen.

Die thermoelektrischen Untersuchungen an Elektrolyten zeigen Folgendes:

1. Die Richtung des Thermostromes ist bei den festen Halogensalzen des Cd, Pb, Th, Cu, Ag und bei $NaNO_3$ und KNO_3 dieselbe, und zwar fließt der positive Strom von der erhitzten durch den Elektrolyten zur kalten Kontaktstelle.

2. Die Halogensalze des Hg zeigen keinen Thermostrom.

3. Bei den nicht-umkehrbaren Ketten mit Lösungen von Salzen fließt der positive Thermostrom wie bei den Konzentrationsketten, also in entgegengesetzter Richtung wie bei den festen Elektrolyten.

An dieser Stelle gestatte ich mir, Herrn Geheimrat Prof. Dr. G. C. Schmidt für seine reiche Unterstützung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Münster i. Westf., Physikal. Institut, März 1925.

(Eingegangen 11. März 1925.)

Über ein einfaches spektroskopisches Hilfsmittel bei Arbeiten im sichtbaren und ultravioletten Spektrum.

Von W. Steubing.

Für viele spektroskopische Arbeiten ist es angenehm, wenn man zur vorläufigen Orientierung über Aussehen, Schärfe von Spektrallinien, Dispersion des benutzten Apparats, Helligkeitsverteilung im Spektrum, eine Beobachtungsmöglichkeit hat, ohne direkt zur photographischen oder einer andern objektiven Methode greifen zu müssen. Insbesondere zur ersten Einstellung spektroskopischer Apparate, seien es Gitteraufstellungen oder Spektrographen, ist ein Hilfsmittel, das man sich auf billige und einfache Weise selbst herstellen kann, gut anwendbar und soll im folgenden beschrieben werden, da es sich bei eigenen Arbeiten bisher gut bewährt hat.

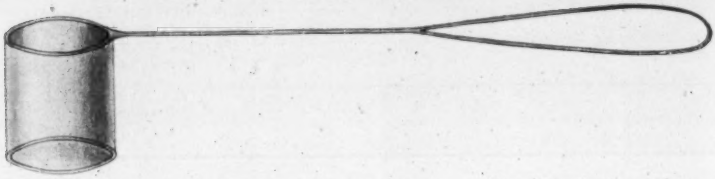
Ein besonderer Vorteil scheint mir dabei zu sein, daß man es ebensogut im sichtbaren Spektrum, wie im ultravioletten Spektralgebiet einschließlich des Schumannspektrums verwenden kann, und im Ultraviolett (auch für Röntgenstrahlen) läßt es sich zur objektiven Darstellung: zur Demonstration verwenden, soweit die übrigen Bedingungen genügende Intensität des Spektrums gewährleisten.

Beim Arbeiten im Ultraviolett empfand ich es als störend, daß es an einer subjektiven Beobachtungsmöglichkeit für einen größeren Spektralbereich fehlt: Schon im Violetten, dem Auge noch wahrnehmbaren Gebiet, ist seine Empfindlichkeit so gering, daß eine vorläufige Einstellung auf einer Mattscheibe auch bei intensiven Linien sehr schwierig ist. Im anschließenden Ultraviolett ist eine fluoreszierende Uranglasplatte — das bisher gebräuchlichste Hilfsmittel bei subjektiven Ultravioletbeobachtungen (Soretsches Okular) — schon darum sehr ungeeignet, weil die Eindringungstiefe des grünliche Fluoreszenz erregenden Lichtes bis etwa zur Wellenlänge 2700 A. E. so groß ist, daß von der Beobachtung einigermaßen scharfer Spektrallinien gar keine Rede sein kann.

Außerdem ist die allgemeine Fluoreszenzhelligkeit nicht so bedeutend, daß man auch schwächere Lichtquellen dabei benutzen könnte.

Um eine Verbesserung zu erzielen, hieß es, eine Platte zu schaffen, die nur oberflächlich fluoreszierte — im Unterschied von Uranglas —, ferner möglichst intensiv und zwar in grüngelbem Licht, da nur für dieses das Auge besonders große Empfindlichkeit besitzt.

Um dieselbe Fluoreszenzplatte auch im sichtbaren Spektrum brauchen zu können, muß sie



eine möglichst matte und feinkörnige Oberfläche besitzen.

Als fluoreszierende Substanz erwies sich aus dem untersuchten Material als besonders brauchbar das Uranylfluorid-Fluorammonium, ein Präparat, das von den großen chemischen Fabriken leicht in reiner feinpulveriger Form und zu einem sehr mäßigen Preise zu erhalten ist (100 g ca. 8 Mk.). — Daß das Präparat durch sichtbares Licht gar nicht zu Fluoreszenz erregt wird, ist für die Verwendung nur von Vorteil, da die Farben des sichtbaren Spektrums dadurch keine Änderung erleiden und wie auf einer gewöhnlichen mattgeschliffenen Platte zu beobachten sind. Das Uranylfluorid-Fluorammonium ist wohl früher als Ersatz des teuern Bariumplatincyanür für Röntgenstrahluntersuchungen verwendet worden. Während aber für Röntgenstrahlen das Bariumplatincyanür bedeutend größere Helligkeit zeigt, ist es im ultravioletten Strahlengebiet umgekehrt, und es zeigte sich diese Substanz sowohl dem Uranglas (es wurden Gläser verschiedener Herkunft, englisches und deutsches, geprüft) wie dem Bariumplatincyanür sehr überlegen.

Wegen seines hellgelbgrünen Fluoreszenzlichtes ist es bei subjektiver Beobachtung sehr angenehm.

Wie erwähnt, fluoresziert es nicht bei Bestrahlung mit sichtbarem Licht, wohl aber beginnt die Fluoreszenzerregbarkeit nahe hinter der Sichtbarkeitsgrenze des direkt wahrnehmbaren Spektrums und ist von großer und gleichmäßiger Helligkeit bis mindestens 1850 A. E. Wie weit diese gleichmäßige Erregbarkeit ins Schumannspektrum bis zum Röntgenstrahlgebiet sich fortsetzt, habe ich mangels geeigneter Vakuumspektrographen u. dgl. zur Zeit nicht nachprüfen können, doch ist nach seiner vorerwähnten Verwendung als Röntgenleuchtschirm anzunehmen, daß das Material vom sichtbaren bis zum Röntgen-Spektrum in gleicher Weise zu brauchen ist.

Um das Uranylfluorid-Fluorammonium zu einer für optische Zwecke brauchbaren Platte zu verwenden, geht man zweckmäßig folgendermaßen vor:

Eine gewöhnliche photographische Platte von der Größe der gewünschten Einstellplatte wird unbelichtet in normaler Weise ausfixiert und gründlich gewässert. Danach wird sie in horizontaler Lage — um gleichmäßiges Trocknen zu erzielen — aufgestellt. Vorher stellt man sich ein geeignetes Sieb her, um das feinpulverisierte Uranylfluorid-Fluorammonium gleichmäßig auf die Platte verteilen zu können. Man biegt dazu aus festem Draht ein zylinderförmiges Sieb von passender Größe zurecht — für kleines Plattenformat etwa Fingerhutgröße, für größere mit entsprechend größerer Bodenfläche des Siebs, — und überzieht diesen Drahtrahmen mit einem feinmaschigen Gewebe (Mull oder dgl.), wie es aus der obigen Figur ersichtlich ist. Aus diesem Sieb streut man möglichst gleichmäßig auf die Platte das Uranylfluorid-Fluorammonium, sobald die Platte soweit getrocknet ist, daß der Außenrand ganz trocken erscheint (bekanntlich trocknen die Platten bei solcher Lage immer vom Rande her), während die Gesamtfläche soweit ausgetrocknet ist, daß die weiche Gelatine noch klebrig ist. Verreibt man nun das aufgestreute Pulver noch möglichst gleichmäßig mit dem Daumenballen, so zerkratzt man dadurch die Gelatineschicht derartig, daß sie wie eine feinkörnig geschliffene Mattglasscheibe aussieht und auch als solche ausgezeichnet zu verwenden ist. Die gewöhnlich in photographischen Kameras verwendeten Mattscheiben sind viel zu grobkörnig, um wirklich genaue Beobachtungen mit der Lupe auf ihnen vornehmen zu können und z. B. in Spektralapparaten zu Einstellungen ganz unbrauchbar. Dafür geeignet sind nur die besonders geschliffenen, vorzugsweise zur Verwendung bei Teleobjektiven gelieferten Mattglasscheiben. Der Vergleich zeigte nun, daß eine so behandelte Gelatineplatte — nach völliger Trocknung — einer derartig geschliffenen Mattscheibe völlig gleichwertig ist.

Bei der oben angegebenen Operation reibt man natürlich den größten Teil des aufgestreuten Uranylfluorid-Fluorammoniums wieder herunter, aber es bleibt dabei oberflächlich eine genügend dicke Schicht in der Gelatine auch nach vollständiger Trocknung haften, um starke Oberflächenfluoreszenz zu erzeugen, und gerade in dieser nur in ganz dünner Schicht bestehenden Fluoreszenz ohne absorbierendes Einschlußme-

dium liegt ein Vorteil dieser „fluoreszierenden" Mattscheibe gegenüber Uranglas und fluoreszierenden Platten.

Die fertig getrocknete Platte ist in ihrer Oberfläche genau so — wenig oder viel — verletzbar wie eine normale photographische Platte nach beendeter Entwicklung, Fixierung und Trocknung.

Daß ein nachträgliches Lackieren der Platte nur dann statthaft ist, wenn man sie allein als Fluoreszenzschirm für Ultraviolett oberhalb der Wellenlänge 2500 A. E. gebrauchen will, ist wohl selbstverständlich, da der Lack die kürzeren Wellenlängen absorbiert und außerdem die absichtlich bewirkte Rauhigkeit der Oberfläche wieder beseitigt.

Wie schon erwähnt, ist das Uranylfluorid-Fluorammonium auch durch Röntgenstrahlen zur Fluoreszenz erregbar, obschon für solche Zwecke Bariumplatincyanür entschieden vorzuziehen ist. Aber wo der hohe Preis des letzteren eine Rolle spielt und es nicht so auf maximale Helligkeit des Leuchtens ankommt, kann man natürlich auch diese Methode anwenden, um solche Leuchtplatten in einfacher Weise herzustellen. Es empfiehlt sich aber eine kleine Abänderung der oben beschriebenen Methode, da hier die Absorbierbarkeit der Strahlen in der Gelatine keine Rolle spielt und es vielmehr erwünscht ist, eine dickere fluoreszierende Schicht zu erhalten.

Man tut zu diesem Zwecke gut, die Substanz in der oben angegebenen Weise auf die halbtrockene Gelatine in größerer aber gleichmäßiger Schicht aufzustreuen und alsdann die Platte auf eine warme — nicht heiße — Unterlage (Ofenplatte, Sonne) horizontal so lange zu legen, bis die Gelatine so weich wird, daß das Pulver in dieselbe ganz einsinkt. Danach erfolgt die Fertigtrocknung ohne Wärme wie oben angegeben. Man erhält so eine optisch klare, aber in dickerer Gelatineschicht stark fluoreszierende Platte.

Endlich sei bemerkt, daß man das ganze Verfahren natürlich auch übertragen kann, um auf undurchsichtiger Unterlage — etwa für Projektionszwecke — Leuchtschirme fürs Ultraviolett- und Röntgenspektrum herzustellen.

Um ultraviolette Linien in verdunkeltem Raume zu demonstrieren, ist es meist nicht vorteilhaft die gelbgrüne Fluoreszenz auf hellem Untergrund vielmehr auf dunklem sichtbar zu machen. Dies kann man sehr einfach erreichen, indem man gewöhnliches photographisches Bromsilberpapier oder sog. „Gaslichtpapier" verwendet, das man bei Tageslicht in Entwicklerlösungen gründlich schwärzt, dann erst fixiert und wässert, und an diesem schwarzen Gelatinepapier im übrigen genau die gleichen Operationen vornimmt, wie sie oben beschrieben sind, je nach dem Zweck, für den dieser Leuchtschirm gedacht ist.

Aachen, Physikalisches Institut der Techn. Hochschule, Februar 1925.

(Eingegangen 20. März 1925).

Über die atomdynamische Deutung der Uhrenhypothese.

Von J. Kudar.

In einer früheren Mitteilung[1]) habe ich die Einsteinsche Rotverschiebung für die wasserstoffähnlichen Serien und für die reinen Rotationsspektren abgeleitet. Die dort angeführte Methode läßt sich immer anwenden, wenn man die Bewegungsgleichungen des Elektrons aus einer „relativistischen" Lagrange-Funktion [(4) oder (16) in Q. und R.] ableiten kann, d. h. wenn die modellmäßige Deutung der Emission des betreffenden Spektrums im Rahmen der relativitätstheoretischen Dynamik möglich ist.

In der vorliegenden Arbeit werde ich die klassisch-elektrodynamische und die quantentheoretische Bedeutung der Uhrenhypothese vom einheitlichen Gesichtspunkte aus betrachten.

Es ist wohl möglich, die Uhrenhypothese auch mit Hilfe solcher Überlegungen, in welchen die Dynamik der Lichtemission keine Rolle spielt, zu unterstützen und plausibel zu machen. Da aber die Bewegungsgleichungen des Elektrons aus einem von den übrigen Grundpostulaten der Relativitätstheorie ganz unabhängigen Variationsprinzip folgen, ist das Problem der „Atomuhr" eine selbständige Frage der Atommechanik.

I.

Befinde sich das Atom in einem Koordinatensystem, in dem die spezielle Relativitätstheorie gilt. Dann wird die Lagrangesche Funktion des Elektrons gemäß (4) Q. und R.:

$$L = -\frac{mc^2}{2}\left[\left(\frac{dx_0'}{ds}\right)^2 - \sum_{i=1}^{3}\left(\frac{dx_i'}{ds}\right)^2\right] - \left| - e\sum_{i=0}^{3}\varphi_i'\frac{dx_i'}{ds}\right. \qquad (1)$$

Die elektromagnetischen Potentiale hängen von x_1', x_2', x_3' ab.

[1]) J. Kudar, Die Quantentheorie und die Rotverschiebung der Spektrallinien. Physik. Zeitschr. **26**, 207—211, 1925. Im folgenden als Q. und R. zitiert.

Führen wir in (1) die Transformation:

$$x'_0 = \sqrt{g_{00}}\, x_0, \quad x'_k = \frac{x_k}{\sqrt{g_{00}}} \quad (k = 1, 2, 3) \qquad (2)$$

ein, so bekommen wir:

$$L = -\frac{mc^2}{2}\left[g_{00}\left(\frac{dx_0}{ds}\right)^2 - \frac{1}{g_{00}}\sum_{k=1}^{3}\left(\frac{dx_k}{ds}\right)^2\right] - \\ - e\sqrt{g_{00}}\,\varphi'_0\frac{dx_0}{ds} - e\sum_{k=1}^{3}\frac{\varphi'_k}{\sqrt{g_{00}}}\frac{dx_k}{ds}. \qquad (3)$$

Das ist die Lagrangesche Funktion, wenn die Maßbestimmung (20) Q. und R. gilt. φ'_i hängen von x_1, x_2, x_3, und von g_{00} ab.

Also wird die auf die kosmische Zeit bezogene Lagrangesche Funktion (gemäß (16) Q. und R.:

$$L^{(t)} = -mc^2\sqrt{g_{00} - \frac{1}{g_{00}c^2}\sum_{k=1}^{3}\left(\frac{dx_k}{dt}\right)^2} - \\ - e\sqrt{g_{00}}\,\varphi'_0 - \frac{e}{c}\sum_{k=1}^{3}\frac{\varphi'_k}{\sqrt{g_{00}}}\frac{dx_k}{dt} \qquad (4)$$

Wir bilden aus (4) auf bekannte Weise die Hamiltonsche Differentialgleichung:

$$H\left(x_1, x_2, x_3; \frac{\partial S}{\partial x_1}, \frac{\partial S}{\partial x_2}, \frac{\partial S}{\partial x_3}\right) = \text{const} = E \\ \left(\frac{\partial S}{\partial x_k} = y_k = \frac{\partial L^{(t)}}{\partial \frac{dx_k}{dt}}\right). \qquad (5)$$

Nehmen wir nun an, daß in dieser Differentialgleichung (nach Einführen geeigneter Koordinaten) die Variablen separabel sind. So können wir die Koordinaten als mehrfache Fouriersche Reihen der Winkelvariablen w_1, w_2, w_3 darstellen:

$$x_i = \sum C^{(i)}_{\tau_1\tau_2\tau_3} e^{2\pi i(\tau_1 w_1 + \tau_2 w_2 + \tau_3 w_3)},$$

worin τ_k alle positive und negative ganze Zahlen durchlaufen.

w_k ändern sich mit der Zeit gleichförmig:

$$w_k = \omega_k t + \delta_k.$$

Die Grundschwingungszahlen ω_k hängen mit den „Wirkungsvariablen" J_k) folgendermaßen zusammen:

$$\omega_k = \frac{\partial E}{\partial J_k}, \qquad (6)$$

worin J_k die Phasenintegralen sind:

$$J_k = \oint y_k\, dx_k.$$

Die Wirkungsvariablen sind von der Zeit unabhängig, und die Energiekonstante E läßt sich als eine Funktion von J_1, J_2, J_3 und g_{00} darstellen.

Für $g_{00} = 1$ (d. h. ohne Schwerefeld) seien die Grundschwingungszahlen, die Wirkungsvariablen und die Energie bzw. mit ω'_k, J'_k und E' bezeichnet. (Die entsprechenden vom Schwerefeld beeinflußten Größen werden ohne Strich bezeichnet.)

Die Quantenbedingungen normieren die Wirkungsvariablen so, daß sie positive ganze Vielfache des elementaren Wirkungsquantums sein sollen. Also haben J'_k und J_k für quantentheoretisch ausgezeichnete Zustände dieselben Werte. In diesem Sinne werden solche (vom Schwerefeld beeinflußten und unbeeinflußten) Bewegungszustände einander entsprechen, für welche $J_k = J'_k$ gilt. Dementsprechend können wir (6) für ein vom Schwerefeld unbeeinflußtes Atom in der Form:

$$\omega'_k = \frac{\partial E'}{\partial J_k} \qquad (6')$$

ansetzen.

Nun fordert die Uhrenhypothese, daß zwischen den Schwingungsfrequenzen der Atome die Relation gelten soll:

$$\nu = \sqrt{g_{00}}\,\nu'. \qquad (I)$$

Vom klassisch-elektrodynamischen Standpunkte aus fordert die Relation (I), daß zwischen den Grundschwingungszahlen der Fourierschen Entwicklung der Koordinaten dieselbe Relation bestehe:

$$\omega_k = \sqrt{g_{00}}\,\omega'_k. \qquad (II)$$

Andererseits fordert die Uhrenhypothese vom Standpunkte der Quantentheorie aus, daß für die Energie die Relation:

$$E = \sqrt{g_{00}}\,E' \qquad (III)$$

gültig sei.

Ob die Energiekonstante der Bedingung (III) wirklich Genüge leistet, kann man erst dann konstatieren, wenn die Hamiltonsche partielle Differentialgleichung aufgelöst und die Energie als Funktion der Wirkungsvariablen ausgedrückt ist.

Aus (II), (III) und (6') können wir eine merkwürdige Folgerung ziehen. Nehmen wir an, daß die Hamilton-Jacobische Behandlung des Bewegungsproblems die Gültigkeit der Relation (III) ergeben hat, d. h. die Uhrenhypothese für die aus der Bohrschen Frequenzbedingung sich ergebende Frequenz gültig ist, so folgt die Gültigkeit der Relation (II) für die klassisch-elektrodynamische Frequenz einfach aus (6'). Damit ist die gemeinsame klassisch-elektrodynamische und quantentheoretische Bedeutung der Atomuhr klargestellt.

II.

Wie oben erwähnt wurde, ist es notwendig, zur Bestätigung der Relation (III), die Energie als Funktion der Wirkungsvariablen darzustellen. Nun können wir die Gültigkeit dieser Relation in bezug auf einzelne spezielle Probleme der Atommechanik untersuchen.

Z. B. für den Zeemaneffekt geht die Rechnung folgendermaßen:

Die Richtung des magnetischen Feldes (F) sei die x_1-Achse; so werden die räumlichen Komponenten des elektromagnetischen Vierervektors in einem Lorentzschen Koordinatensystem:

$$\varphi_1' = 0, \quad \varphi_2' = +\frac{F}{2} x_3', \quad \varphi_3' = \pm \frac{F}{2} x_2';$$

also der elektromagnetische Teil der Lagrangeschen Funktion (1):

$$\frac{e^2 z}{r'} \frac{dx_0'}{ds} \pm \frac{eF}{2} \left(x_3' \frac{dx_2'}{ds} - x_2' \frac{dx_3'}{ds} \right).$$

Daraus ergibt sich nach der Transformation (2) die der Maßbestimmung (20) Q. und R. entsprechende Lagrangesche Funktion[1]):

$$L = -\frac{mc^2}{2} \left| g_{00} \left(\frac{dx_0}{ds} \right)^2 - \frac{1}{g_{00}} \left[\left(\frac{dr}{ds} \right)^2 + r^2 \left(\frac{d\vartheta}{ds} \right)^2 + r^2 \sin^2 \vartheta \left(\frac{d\varphi}{ds} \right)^2 \right] \right| + g_{00} \frac{e^2 z}{r} \frac{dx_0}{ds} \pm \frac{eF}{2 g_{00}} r^2 \sin^2 \vartheta \frac{d\varphi}{ds}.$$

Führen wir die Impulse:

$$\Xi = \frac{\partial L}{\partial \frac{dx_0}{ds}} = -mc^2 g_{00} \frac{dx_0}{ds} + g_{00} \frac{e^2 z}{r}; \quad P = \frac{\partial L}{\partial \frac{dr}{ds}} = \frac{mc^2}{g_{00}} \frac{dr}{ds}; \quad \Theta = \frac{\partial L}{\partial \frac{d\vartheta}{ds}} = \frac{mc^2}{g_{00}} r^2 \frac{d\vartheta}{ds};$$

$$\Phi = \frac{\partial L}{\partial \frac{d\varphi}{ds}} = \frac{mc^2}{g_{00}} r^2 \sin^2 \vartheta \frac{d\varphi}{ds} \pm \frac{eF}{2 g_{00}} r^2 \sin^2 \vartheta$$

in die Hamiltonsche Funktion:

$$H = -\frac{mc^2}{2} \left| g_{00} \left(\frac{dx_0}{ds} \right)^2 - \frac{1}{g_{00}} \left[\left(\frac{dr}{ds} \right)^2 + r^2 \left(\frac{d\vartheta}{ds} \right)^2 + r^2 \sin^2 \vartheta \left(\frac{d\varphi}{ds} \right)^2 \right] \right|$$

ein, so ergibt sich die Hamiltonsche Differentialgleichung:

$$\left(\frac{E}{g_{00}} - \frac{e^2 z}{r} \right)^2 - \left[\left(\frac{\partial S}{\partial r} \right)^2 + \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial S}{\partial \vartheta} \right)^2 + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \left(\frac{\partial S}{\partial \varphi} \pm \frac{eF}{2 g_{00}} r^2 \sin^2 \vartheta \right)^2 \right] = \frac{m^2 c^4}{g_{00}}$$

$$\left(E = \Xi = \text{const}, \ \frac{\partial S}{\partial r} = P, \ \frac{\partial S}{\partial \vartheta} = \Theta, \ \frac{\partial S}{\partial \varphi} = \Phi \right),$$

woraus nach Vernachlässigung des in F quadratischen Gliedes eine Differentialgleichung sich ergibt, in der die Variablen separabel sind.

Nach Bestimmung der Wirkungsfunktion S können wir die Energie E durch die Wirkungsvariablen:

$$J_r = \oint \frac{\partial S}{\partial r} dr, \quad J_\vartheta = \oint \frac{\partial S}{\partial \vartheta} d\vartheta,$$

$$J_\varphi = \int_0^{2\pi} \frac{\partial S}{\partial \varphi} d\varphi = \text{const}$$

ausdrücken[2]).

Die Rechnung zeigt, daß:

$$E = \sqrt{g_{00}} E'$$

ist, worin E' die Energie für $g_{00} = 1$ bedeutet[3]).

Im Falle des Starkeffektes ist dieses Verfahren nicht anwendbar, da beim Problem des relativistischen Starkeffektes die Separation der Variablen unmöglich ist. Bekanntlich muß man für die Auswertung der Energie die Methode der Störungsquantelung anwenden[4]).

III.

Man hat die Rotverschiebung der Spektrallinien ursprünglich aus der einfachen Relation:

$$ds = \sqrt{g_{00}} dx_0$$

gefolgert. Diese Relation stellt den Zusammenhang zwischen der Eigenzeit eines ruhenden Beobachters und der kosmischen Zeit dar.

In den obigen Überlegungen kommt die vollständige Form der Maßbestimmung (nicht nur deren erstes Glied) vor; eine noch wichtigere

1) Es ist irrelevant, ob man die auf die Eigenzeit bezogene oder die auf die kosmische Zeit bezogene Lagrange-Funktion anwendet, da die entsprechenden Hamiltonschen Differentialgleichungen äquivalent sind. Vgl. J. Kudar, Zur Behandlung des Schwarzschildschen Einkörperproblems im Rahmen der Hamilton-Jacobischen Theorie, Physik. Zeitschr. **26**, 276, 1925.

2) Dann ergibt sich die gequantelte Energie, wenn man auf die Wirkungsvariablen die Quantenbedingungen [(8) Q. und R.] anwendet.

3) Die Berechnung von E' findet man bei Sommerfeld, Physik. Zeitschr. **17**, 491, 1916.

4) H. A. Kramers, Zeitschr. f. Phys. **3**, 199, 1920.

Rolle spielt der Umstand, daß g_{00} auch in die elektromagnetischen Potentiale eingeht.

Szeged, 16. März 1925.

(Eingegangen 21. März 1925.)

Allgemeiner Beweis der „Atomuhr" mit Hilfe der Hamilton-Jacobischen Theorie.

Von J. Kudar.

In der vorstehenden Mitteilung habe ich auf die gemeinsame klassisch-elektrodynamische und quantentheoretische Bedeutung der „Atomuhr" hingewiesen und die Ansicht vertreten, daß man die Gültigkeit der Relation:

$$E = \sqrt{g_{00}}\, E'$$

erst dann konstatieren kann, wenn die Hamiltonsche partielle Differentialgleichung explizit aufgelöst ist.

Es läßt sich aber die Gültigkeit dieser Relation in voller Allgemeinheit auf äußerst einfache Weise bestätigen, ohne die explizite Auswertung der Energie (in bezug auf einzelne spezielle Fälle) heranzuziehen.

Aus der Lagrangeschen Funktion (1)[1]) läßt sich eine Hamiltonsche Differentialgleichung:

$$H\left(\cdots x'_f \cdots, \cdots \frac{\partial S}{\partial x'_f} \cdots\right) = -\frac{mc^2}{2}$$

ableiten, in der

$$\frac{\partial S}{\partial x'_0} = \text{const} = E'$$

die Energie bedeutet. Wir können die Wirkungsfunktion S in der Form:

$$S = E' x'_0 + \text{funkt.}\,(x'_1, x'_2, x'_3)$$

darstellen. Führen wir in S die Transformation (2)[1]) ein, so folgt:

$$S = E' \sqrt{g_{00}}\, x_0 + \text{funkt.}\,(x_1, x_2, x_3). \qquad \text{(I)}$$

Andererseits führt die Lagrangesche Funktion (3)[1]) auf eine Wirkungsfunktion:

$$S = E x_0 + \text{funkt.}\,(x_1, x_2, x_3). \qquad \text{(II)}$$

Daraus folgt, da (I) und (II) identisch sein sollen, die allgemeine Gültigkeit der Relation:

$$E = \sqrt{g_{00}}\, E'. \qquad \text{(III)}$$

Bemerkenswert ist in dieser Schlußweise, daß die Transformation der kosmischen Zeit darin die entscheidende Rolle spielt, aber die Form der räumlichen Maßbestimmung ganz und gar bedeutungslos ist. Wir können auch durch direkte Rechnung für die von mir behandelten Fälle (Hydrogenserien, Rotationsspektren, Zeemaneffekt) erfahren, daß die Relation (III) auch dann gilt, wenn wir an Stelle der benutzten Maßbestimmung:

$$ds^2 = g_{00} dx_0^2 - \frac{1}{g_{00}} (dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2)$$

die folgende setzen:

$$ds^2 = g_{00} dx_0^2 - (dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2).$$

In dieser Tatsache finden wir die Erklärung dafür, daß die Rotverschiebung der Spektrallinien nur vom ersten Glied der Maßbestimmung abhängt, wie man aus der Relation:

$$ds = \sqrt{g_{00}}\, dx_0$$

mit Hilfe der Uhrenhypothese ursprünglich gefolgert hat.

1) In der vorstehenden Mitteilung.

Szeged, 21. März 1925.

(Eingegangen 24. März 1925.)

ZUSAMMENFASSENDE BERICHTE.

Besorgt von R. Seeliger.

Stereoskopisches Sehen.

(Mitteilung aus der A.-G. C. P. Goerz, Optische Anstalt in Bratislava.)

Von Chr. v. Hofe.

Bei der Benutzung eines einzigen Auges sieht man ein perspektivisches flächenhaftes oder zweidimensionales Bild von den Gegenständen der Außenwelt, d. h. alle Gegenstände erscheinen auf eine senkrecht zur Visierlinie stehende Ebene projiziert, sodaß man nur die Breite und Höhe der Gegenstände direkt wahrnimmt, aber nicht ihre Entfernung. Man sieht also nur ein flächenhaftes Bild, wie auf einem Gemälde oder einer Photographie, aber kein räumliches. Die verschiedenen Entfernungen der Objekte haben einen Einfluß auf die scheinbare Größe der Bilder, oder genauer gesprochen auf die Winkelgröße. Aus der Fig. 1 geht hervor, daß der Winkel α, unter dem das Bild erscheint, sich aus der Gleichung ergibt:

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{h}{e}, \text{ bzw. } \alpha = \frac{h}{e} \text{ für kleine Winkel.} \qquad (1)$$

Hierin bedeutet h die wirkliche Größe des Bildes und e die Entfernung. Aus der Gleichung (1)

ergibt sich, daß die Größe des Gegenstandes wiedergegeben wird durch die Gleichung

$$h = \alpha \times e. \qquad (2)$$

Sie ist also für Schätzungen abhängig von der meistens unbekannten Entfernung. Zwei verschieden weit entfernte Gegenstände können dem Beobachter gleich groß erscheinen, obgleich ihre Höhe sehr verschieden ist (vgl. Fig. 1), wenn α

Fig. 1.

für beide den gleichen Wert hat und ihre Entfernungen für gleich groß gehalten werden. Ebenfalls kann natürlich das Größenverhältnis zweier Bilder direkt umgekehrt sein wie das der entsprechenden Objekte.

Ebenso unsicher ist die Schätzung der Entfernung, die dargestellt ist durch:

$$e = \frac{h}{\alpha}. \qquad (3)$$

Die Basis, die dieser Schätzung zugrundeliegt, ist die Objektgröße h, die entweder ungenau oder gar nicht bekannt ist. Der wachsende Akkommodationszustand des Auges bei Annäherung des Gegenstandes kommt bei der kurzen Brennweite des Auges nur für ganz kurze Entfernungen in Frage und spielt bei Objekten in der Landschaft überhaupt keine Rolle. Außerdem wird das Schätzen von Entfernungen noch beeinflußt durch den mehr oder weniger sichtbaren Vordergrund, durch atmosphärische Ursachen, Beleuchtung u. dgl. Das Entfernungsschätzen auf Grund des einäugigen Sehens ist also im höchsten Grade ungenau.

Durch den Besitz von zwei Augen hat der Mensch eine unveränderliche Basis b_0 bei sich, nämlich den Abstand seiner beiden Augen. Hierdurch erhält er eine zwangsläufige Empfindung für die dritte Dimension, nämlich die der Entfernung. Aus Fig. 2 ergibt sich für kleine Winkel

$$\delta_0 = \frac{b_0}{e} \qquad (4)$$

wenn δ_0 der Neigungswinkel zwischen den beiden auf den Gegenstand gerichteten Augenachsen ist. Hieraus geht hervor, daß die Konvergenz der Augenachsen um so größer wird, je näher der Gegenstand ist. Infolgedessen kann man die Entfernungsunterschiede der verschiedenen Gegenstände wahrnehmen; das von

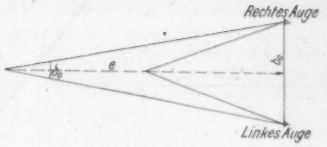


Fig. 2.

beiden Augen aufgenommene Bild ist ein plastisches, räumliches (dreidimensionales).

Die Gegenstände der Außenwelt erzeugen auf der Netzhaut des Auges ein perspektivisches Bild (Fig. 3). Wenn man dieses rückwärts durch

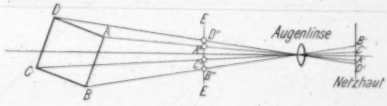


Fig. 3.

die Augenlinse aus dem Auge heraus auf eine Ebene E, E projiziert, die senkrecht zu der Augenachse steht, oder, was dasselbe ergibt, die Durchstoßungspunkte der vom Objekt herkommenden, nach der Augenpupille gerichteten Lichtstrahlen auf dieser Ebene markiert, so ersetzt dieses Bild die wirkliche Landschaft und macht auf den Wahrnehmenden genau denselben Eindruck wie diese, vorausgesetzt, daß der Betrachtungsabstand richtig gewählt ist. In diesem Falle wird die Brennweite des Auges als konstant angenommen und die Abstände der Gegenstände als unendlich groß im Verhältnis zu dieser Brennweite. Stimmt diese Annahme nicht, so ändert sie auch nicht viel an diesem perspektivischen Bild, da schlimmstenfalls punktförmige Objekte als Zerstreuungskreise wiedergegeben werden, diese Teile des Bildes also mehr oder weniger unscharf erscheinen würden. Selbstverständlich kann dieses perspektivische Bild auch durch ein Gemälde oder eine Photographie ersetzt werden.

Wenn man dieses perspektivische Bild bei unveränderter Augenstellung für jedes der beiden Augen herstellt, so sind diese beiden Teilbilder etwas voneinander verschieden. In Fig. 4 ist

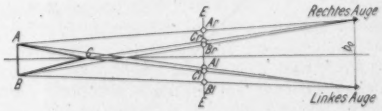


Fig. 4.

dieser Vorgang für einen dem Beobachter zugekehrten Kegel $A\ B\ C$ skizziert. Auf der Ebene

E, E sind die Durchstoßungspunkte der Visierstrahlen für die beiden in der Zeichenebene liegenden Basispunkte und die Spitze des Kegels dargestellt. Diese ergeben das perspektivische Bild, das in der Fig. 5 in der Aufsicht gezeigt ist. Man sieht, das im linken Bild die Kegelspitze C nach rechts, in dem dem rechten Auge zugehörigen Bild nach links verschoben erscheint. Wenn man dieses Doppelbild durch ein Stereoskop betrachtet, glaubt man den Kegel mit der Spitze dem Beobachter zugekehrt zu sehen. Hierbei ist es wichtig, daß jedes Auge nur das ihm zugehörige Bild, und auch wirklich dieses, sieht. Werden die beiden Teilbilder vertauscht (Fig. 6),

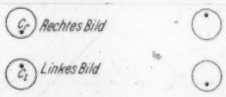


Fig. 5. Fig. 6.

so sieht der Beobachter nicht die Kegelspitze sich zugekehrt, sondern von sich abgewandt. Man hat also den Eindruck einer konischen Vertiefung. Die Reihenfolge in der Entfernung wird umgekehrt dargestellt; diesen Eindruck nennt man pseudoskopisch.

Unabhängig von dem großen Vorteil des plastischen Sehens liefert die Benutzung von zwei Augen auch noch eine größere Gesamthelligkeit des Bildes, da natürlich durch zwei Augen mehr Licht in unserem Sehapparat gelangt als durch ein Auge. Der Unterschied zeigt sich besonders in der Dämmerung dadurch, daß die Wahrnehmbarkeit des Bildes in jeder Beziehung eine bessere wird. Bei mangelhaftem Licht wird man also feinere Messungen und Einstellungen mit zwei Augen besser ausführen können als mit einem.

Das Tiefenunterscheidungsvermögen der beiden Augen kann gesteigert werden durch zwei Hilfsmittel, und zwar einmal, indem man die Sehschärfe bzw. das Auflösungsvermögen der beiden einzelnen Augen steigert, und andrerseits dadurch, daß man die Betrachtungsbasis, den Abstand der beiden Augen, vergrößert.

Das Auflösungsvermögen der Augen wird erhöht, wenn man sie mit einem Fernrohr oder einem Mikroskop (Lupe) bewaffnet. Bekanntlich unterscheiden sich diese beiden Hilfsmittel dadurch, daß das eine für weit entfernte, das andere für sehr nahe Objekte gebraucht wird. Wenn in der Formel (1) e unendlich groß wird, so wird naturgemäß α unendlich klein und die Genauigkeit der Wahrnehmung wird sehr gering. In diesem Fall, wenn also das Objekt unendlich weit entfernt ist, bringt man es mit Hilfe eines Fernrohres künstlich in geringe Entfernung, vorausgesetzt, daß man aus äußeren Gründen nicht in der Lage ist, näher an das Objekt heranzugehen. Wenn umgekehrt die Entfernung nicht groß ist, aber die Größe h sehr klein, so daß aus diesem Grunde α ebenfalls sehr klein wird, so tritt die Möglichkeit ein, daß man zur Vergrößerung von α die Entfernung e nicht weiter verkleinern kann, weil die Akkommodationsfähigkeit des Auges eine stärkere Annäherung nicht mehr zuläßt. In diesem Falle bewaffnet man das Auge mit einer Lupe oder einem Mikroskop. Beide Hilfsmittel haben also den Zweck, die scheinbare Größe des Objektes, bzw. den Betrachtungswinkel α zu vergrößern.

Will man andrerseits den Konvergenzwinkel δ_0 (Gleichung 4) vergrößern, so kann man dieses erreichen durch künstliche Erweiterung des Augenabstandes, wie es Helmholtz mit Hilfe des sog. Telestereoskopes getan hat (vgl. Fig. 7).

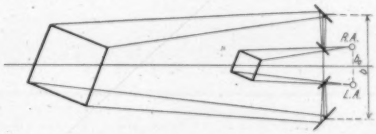


Fig. 7.

Dieser Apparat besteht aus zwei Paaren von Spiegeln. Das eine Paar hat im Mittel ungefähr den Abstand der beiden Augen (b_0); das andere den Abstand der neuen Betrachtungsbasis (b). Die beiden rechten Spiegel eines jeden Paares sind einander parallel, ebenso die beiden linken Spiegel, so daß die vom Objekt ausgehenden Strahlen parallel zu sich selbst nach innen verschoben werden. Das Verhältnis $\frac{b}{b_0}$ nennt man die spezifische Plastik. Wegen der Parallelität der zusammengehörigen Lichtstrahlenteile ist das gesehene Bild in diesem Verhältnis $\frac{b}{b_0}$ kleiner und näher als das Objekt.

Wenn man beide Hilfsmittel zur Erhöhung des plastischen Sehens gleichzeitig anwendet, so multipliziert sich ihre Wirkung. Wird also die Fernrohrvergrößerung mit γ, oder die Mikroskopvergrößerung mit β bezeichnet, so würde die Steigerung des plastischen Sehens im einen Fall sein $\gamma \frac{b}{b_0}$, im anderen $\beta \frac{b}{b_0}$. Diese Faktoren nennt man totale Plastik.

Wie bereits erwähnt worden ist, erhält man bei der Betrachtung von photographischen Aufnahmen, wenn man nur ein Auge benutzt, einen perspektivischen Eindruck. Diese Perspektive

ist nur dann richtig, d. h. naturgetreu, wenn der Betrachtungsabstand gleich der Brennweite des Aufnahmeobjektives ist. Wie aus der Fig. 8 hervorgeht, erscheint bei zu kleinem Betrachtungsabstand, wenn die Höhe des Objektes als unverändert (bekannt) angenommen wird, dieses näher und in der Tiefendimension verkleinert (zu geringe Plastik). Bei zu großem Betrachtungsabstand ist der Eindruck umgekehrt. Bei der Aufnahme liegt das perspektivische Zentrum im hinteren Hauptpunkt des Objektivs und bei der Betrachtung im Drehpunkt des Auges. Da bei den meisten photographischen Aufnahmen das Bild ungefähr in der Brennebene des Objektives entsteht, so ist bei der soeben angeführten Bedingung der Abstand dieses perspektivischen Zentrums vom Bild in beiden Fällen gleich. Wenn die Brennweite des Aufnahmeobjektivs kürzer ist als die untere Grenze des Akkommodationsbereiches des Auges, so kann der richtige Betrachtungsabstand nicht ohne weiteres eingehalten werden. Dann muß man, wie schon früher einmal erwähnt, eine Lupe an-

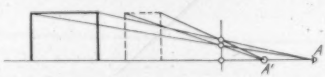


Fig. 8.

wenden. Die Brennweite dieser Lupe muß also gleich der Brennweite des Aufnahmeobjektives sein, wenn die naturgetreue Perspektive erreicht werden soll. Gullstrand hat darauf hingewiesen, daß diese Lupe auf den Drehungsmittelpunkt des Auges korrigiert sein muß. A. Gleichen hat nachgewiesen, daß streng genommen der perspektivische Eindruck nur dann richtig ist, wenn der wirksame Durchmesser des Objektivs gleich dem Durchmesser der Augenpupille im Moment der Betrachtung ist, und wenn außerdem noch der Betrachtungsabstand gleich dem Abstand des Bildortes von der Austrittspupille des Objektivs dividiert durch das Vergrößerungsverhältnis der Pupillen ist. Jedoch brauchen diese Bedingungen für die praktische Anwendung nicht allzu streng erfüllt zu sein.

Wenn außerdem noch für das zweiäugige Sehen derselbe Eindruck beim Betrachten der photographischen Aufnahmen durch ein Stereoskop wie beim direkten Anschauen des Objektes hervorgerufen werden soll, so sind zwei Teilaufnahmen nötig, welche dem im Sehen mit beiden Augen konstruierten Raumbild die richtige scheinbare Entfernung und die naturgetreuen Dimensionen erteilen. Wie aus Fig. 7 hervorgeht, muß zu diesem Zweck $b = b_0$ sein, d. h. der Abstand der perspektivischen Zentren bei der Aufnahme muß gleich dem Augenabstand sein.

In Fig. 9 sind die Verhältnisse für eine Aufnahme mit einer stereoskopischen Kamera

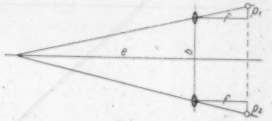


Fig. 9.

dargestellt. Maßgebend für den scheinbaren Entfernungsunterschied der verschiedenen räumlich gesehenen Bildpunkte ist der um die Basis b verminderte Abstand seiner Einzelbilder

$$p = p_1 + p_2 = \frac{bf}{e} = f \cdot \delta. \qquad (5)$$

Hierin ist f die gleich große Brennweite der beiden Aufnahmeobjektive. Diese parallaktische Verschiebung p ist natürlich für unendlich ferne Objekte gleich o und wird umso größer, je näher der Gegenstand, d. h. je kleiner e ist, oder je größer b und f sind.

Ein richtiges, naturgetreues Bild von dem räumlichen Objekt wird also nur dann erreicht, wenn sowohl der perspektivische als auch der plastische Eindruck derselbe ist, wie wenn der Beschauer die Gegenstände mit unbewaffneten Augen direkt ansieht. Dies ist der Fall, wenn in dem Ausdruck für die totale Plastik $\beta \frac{b}{b_0}$ bzw. $\gamma \frac{b}{b_0}$ sowohl die Vergrößerung (β bzw. γ) $= 1$, als auch die spezifische Plastik $\frac{b}{b_0} = 1$ ist. Der Einfluß von β bzw. γ ist derselbe wie der eines falschen Betrachtungsabstandes (Fig. 8). Ist z. B. γ von 1 verschieden, so erscheint dem Beobachter das Objekt entweder größer oder näher. Meistens erscheint es ihm näher, und zwar proportional der Vergrößerung. Da nun alle einzelnen Objekte in verschiedenen Entfernungen proportional der Vergrößerung näher gerückt erscheinen, so werden auch die Entfernungsunterschiede proportional der Vergrößerung γ verkleinert, d. h. also, die Tiefendimensionen werden falsch dargestellt. Während die Breitendimension sich unverändert zeigt, erscheint die Tiefendimension zu klein. Es entsteht die sogenannte Kulissenwirkung. Wenn der Beschauer den dem ersten Fall entsprechenden Eindruck erhält, daß die Breite größer ist, so erscheint unter Umständen die Tiefe unverändert. Das Verhältnis von Breite zu Tiefe ist aber auf jeden Fall gegenüber dem Originalobjekt verändert.

Wenn die spezifische Plastik $\left(\frac{b}{b_0}\right)$ einen von 1 verschiedenen Wert besitzt, so erscheint das ganze Objekt proportional diesem Wert verkleinert (S. 336 u. Fig. 7), und ebenfalls proportional diesem Wert näher. Da also die beiden Faktoren γ und $\frac{b}{b_0}$ sich verschieden verhalten, so kann niemals durch ihre Multiplikation für alle verschiedenen Entfernungen, bzw. Tiefen ein konstanter Wert, also auch nicht die Größe 1 herauskommen. Wenn der richtige naturgetreue Eindruck entstehen soll, so muß jeder der beiden Faktoren für sich gleich 1 sein.

Für die Vergrößerung ist maßgebend die Brennweite. Infolgedessen müssen, ebenso wie für die perspektivischen Wirkungen hergeleitet wurde, die Brennweiten der Projektionsobjektive gleich den Brennweiten der Betrachtungslupen oder (bei großen Brennweiten) gleich den Betrachtungsabständen sein; außerdem muß der Abstand b der Projektionsobjektive gleich dem Augenabstande b_0 sein. Nur wenn diese beiden Bedingungen erfüllt sind, wird ein vollkommen naturgetreuer Eindruck von dem räumlichen Objekt erhalten. Freilich sind die Augen für Verstöße gegen diese beiden Bedingungen nicht sehr empfindlich.

Die Betrachtungsapparate für stereoskopische Bilder müssen, wie bereits erwähnt worden ist, so eingerichtet sein, daß jedes Auge das ihm zugehörige Bild, und nur dieses, sieht. Nur in diesem Fall kann das Stereoskopbild das räumliche Objekt vollwertig ersetzen. Dieser Zweck wird auf verschiedene Weise erreicht.

Der erste Wissenschaftler, der sich eingehend und wirklich gründlich mit dem stereoskopischen Sehen beschäftigt hat, ist der Engländer Wheatstone. Er hat zwei Konstruktionen für ein Stereoskop gefunden, das eine ist für die Betrachtung von kleineren Bildern bestimmt; es ist das jetzt noch viel gebräuchliche sogenannte Linsenstereoskop (vgl. Fig. 10). Die beiden

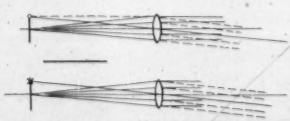


Fig. 10.

Teilbilder sind auf einem Karton nebeneinander geklebt, ihnen gegenüber befindet sich ein brillenartiger Halter für zwei Lupen, durch welche die Teilbilder betrachtet werden. Damit das eine Auge nicht in schräger Richtung nach dem für das andere Auge bestimmten Teilbild blicken kann, ist eine Scheidewand zwischen den beiden Lupen und Bildern angebracht.

Der Abstand der beiden Lupen muß theoretisch ebenso groß sein, wie der Abstand der beiden entsprechenden Bildpunkte eines unendlich entfernten Gegenstandes auf den beiden Teilbildern; dann sind, wie aus der Zeichnung des Strahlenganges in Fig. 10 hervorgeht, für jeden beliebigen Augenabstand des Beobachters und für jede Blickrichtung die Augenachsen nach dem räumlichen Bild dieses unendlich fernen Objektes parallel gerichtet. Dieses Stereoskop kann also vollkommen die Bedingung erfüllen, dem Beobachter durch die Betrachtung der beiden Teilbilder ein perspektivisch und räumlich richtiges, naturgetreues Raumbild zu verschaffen.

Bei diesem Linsen-Stereoskop können die Teilbilder in der Breite höchstens gleich dem Linsenabstand sein, und dieser muß gleich dem mittleren Augenabstand des Beobachters sein. Das Bildformat ist also beschränkt. Aus diesem Grunde hat Wheatstone für größere Bilder das in Fig. 11 dargestellte Stereoskop ausge-

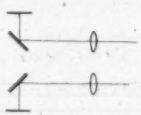


Fig. 11.

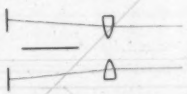


Fig. 12.

führt, bei dem der Strahlengang für jedes Auge um 90° nach außen geknickt ist. Die Teilbilder sind also parallel zueinander rechts und links von den Betrachtungslinsen angeordnet, so daß sie beliebig groß sein können. Da das Licht von jedem Teilbild durch Vermittelung eines Spiegels oder Prismas in die Betrachtungslinsen bzw. in die Augen des Beobachters gelangt, so müssen zur Erzielung eines richtigen räumlichen Bildes die Teilbilder spiegelverkehrt hergestellt sein. Ein weiterer kleiner Nachteil dieses Stereoskopes besteht darin, daß es schwierig ist, die Beleuchtung beider Teilbilder einigermaßen gleich zu erhalten.

Brewster hat einen Mittelweg eingeschlagen, indem er den Betrachtungslinsen eine ablenkende, also prismatische Wirkung erteilte (Fig. 12). Daher hat dieses Instrument auch den Namen Prismen-Stereoskop erhalten. Die Betrachtungslinsen sind auf der äußeren Seite dicker als auf der inneren. Infolgedessen werden die beiden Visierlinien stark nach außen geknickt, so daß etwas größere Bildformate benutzt werden können als bei dem Linsen-Stereoskop von Wheatstone. Im Grunde genommen sind es stark exzentrische Linsen; man stellt sie meistens

in der Weise her, daß man eine normale möglichst große Linse in der Mitte durchschneidet und die beiden Hälften vertauscht in den Linsenhalter einbaut. Dieses Stereoskop hat den Nachteil, daß infolge des geknickten Strahlenganges die Bilder mit ziemlich starken sphärischen Fehlern behaftet sind, so daß der räumliche Eindruck etwas falsch wiedergegeben wird; trotzdem ist dieses Instrument als sogenanntes amerikanisches Stereoskop am weitesten verbreitet.

Eine ebenso einfache wie praktische Methode, die stereoskopischen Teilbilder nur für die ihnen zugehörigen Augen sichtbar zu machen, rührt von Rollmann her. Er stellt die Bilder in Komplementärfarben her und schaltet vor jedes Auge eine in der anderen Komplementärfarbe gefärbte Brille. Wurde beispielsweise das rechte Teilbild grün, das linke Teilbild rot ausgeführt und hat der Beobachter vor dem rechten Auge ein rotes und vor dem linken ein grünes Glas, so sieht er mit dem rechten Auge das rot gefärbte Bild gar nicht, das grüne schwarz auf hellem Untergrund, da das rote Brillenglas die grüngefärbten Lichtstrahlen absorbiert und infolgedessen das Auge die grüngefärbten Bildteile als schwarz auf hellem Grund empfindet. Entsprechend stellt sich das für das linke Auge bestimmte Teilbild dar. Natürlich muß großer Wert darauf gelegt werden, daß die für die beiden Teilbilder und für die Betrachtungsgläser gewählten Farben wirklich Komplementärfarben sind. Solche Stereoskopbilder sind unter dem Namen Anaglyphen vor etwa 10 bis 20 Jahren sehr bekannt geworden. Die Firma Skladanowsky-Berlin hat eine Menge stereoskopischer Städteaufnahmen auf diese Weise hergestellt und in den Handel gebracht. Die leidlich passende Gelatinebrille wurde den Bildern gleich beigegeben.

Auf mechanischem Wege hat Almeida die Darstellung der Teilbilder für die Augen erreicht. Die beiden Teilbilder werden abwechselnd beleuchtet und in derselben Periode werden die beiden Augen abgeblendet bzw. freigegeben, so daß immer gleichzeitig das rechte Teilbild beleuchtet und das rechte Auge freigegeben wird, während zur selben Zeit das linke Bild verdunkelt und das linke Auge abgeblendet ist und umgekehrt. Der hierfür nötige Mechanismus ist natürlich verhältnismäßig kompliziert, so daß diese Methode keine besondere Verbreitung gefunden hat. Krusius hat eingehendere Versuche über räumliches Sehen mit einem Auge gemacht und zwar so, daß die beiden Teilbilder abwechselnd demselben Auge dargeboten wurden. Bei einer gewissen Periodenzahl glaubte er, tatsächlich einen einheitlichen räumlichen Eindruck zu erreichen, sogar ohne daß das andere Auge abgeblendet war. Jedoch scheinen diese Versuche von anderen Beobachtern bisher nicht bestätigt zu sein.

Die soeben beschriebene Wechselvorrichtung kann vermieden werden, wenn man polarisiertes Licht zur Beleuchtung der Teilbilder benutzt und zwar so, daß die Polarisationsebenen der für jedes Bild benutzten Lichtstrahlen senkrecht aufeinanderstehen. Zur Betrachtung müssen dann zwei Analysatoren (Nicolsche Prismen) benutzt werden, die so gestellt sind, daß sie ebenfalls wieder nur die richtigen Lichtstrahlen für das betreffende Auge durchlassen. Diese Methode ist womöglich noch kostspieliger als die vorige und daher ebenfalls wenig oder gar nicht angewandt.

Unter dem Namen Parallax-Stereogramme hat der Amerikaner Ives plastisch wirkende Diapositive hergestellt. Die beiden Teilbilder sind in senkrechter Richtung in schmale Streifen zerschnitten und so zu einem Diapositiv vereinigt, daß abwechselnd der erste Streifen vom linken, der zweite Streifen vom rechten, der dritte Streifen vom linken Bild usw. aneinander gefügt werden. Von jedem Teilbild fehlen also die mit geraden bzw. ungeraden Zahlen bezifferten Streifen. Wenn die Breite dieser Streifen klein genug ist, wirkt dieser Umstand nicht störend. In passender Entfernung vor diesem so hergestellten Diapositiv wird ein Gitter angebracht, dessen Stabdicken und Zwischenräume möglichst genau ebenso groß sind, wie die Breite der Bildstreifen. Der Beobachter hält nun dieses Bild so vor sich, daß sein rechtes Auge durch die Zwischenräume hindurch die dem rechten Teilbild zugehörigen Bildstreifen sieht, während die dem linken Auge zugehörigen durch die Gitterstäbe verdeckt werden (entsprechend für das linke Auge). Auf diese Weise kommt ein räumliches Bild zustande, das allerdings von senkrechten Streifen durchzogen ist, die aber, wie bereits erwähnt, nicht stören, wenn sie fein genug sind. Der plastische Eindruck ist ein sehr guter, aber nur für einen genau eingehaltenen Betrachtungsort. Wenn man mit den Augen zu nahe an das Bild herangeht, oder sich zu weit von ihm entfernt, oder wenn man die Augen zu weit nach links oder rechts bewegt, so bekommt man den bereits erläuterten pseudoskopischen Eindruck. Auf Vorschlag von Herrn Dr. med. Stange habe ich vor kurzem versucht, diese Beobachtungsmethode für Röntgenbilder zu verwenden, und zwar in der Weise, daß das von einem bifokalen Röntgenrohr beleuchtete Objekt durch

ein Gitter hindurch auf den Fluoreszenzschirm oder auf die photographische Platte projiziert, und dann dieses Bild, das vollkommen dem Ivesschen streifenförmigen Diapositiv entspricht, wieder durch ein ebensolches Gitter hindurch betrachtet wurde. Die Versuche ergaben ein sehr befriedigendes Resultat, jedoch fanden wir dann, daß sie schon vorher von Hasselwander veröffentlicht waren. Weshalb sie nicht praktisch ausgenutzt worden sind, ist mir nicht bekannt.

Die Bedingung, daß der richtige Effekt in diesem Fall erreicht wird, geht aus der Fig. 13

Fig. 13.

hervor. Wenn der Abstand der beiden Ausstrahlungsorte L_1 und L_2 des Röntgenrohres, bzw. der beiden Augen A_1 und A_2 b ist, der Abstand des Röntgenrohres bzw. der Augen vom Fluoreszenzschirm MM mit e bezeichnet wird; wenn ferner die Dicke der Gitterstäbe bzw. die Größe der Zwischenräume gleich a und der Abstand des Gitters vom Fluoreszenzschirm d ist, so ergibt sich aus der Ähnlichkeit der Dreiecke:

$$b : c = a : d. \qquad (6)$$

In diesem Fall wird immer nur der richtige Bildstreifen abgebildet und dem betreffenden Auge sichtbar gemacht, während der falsche abgeblendet wird.

Lippmann in Paris hat ebenfalls eine stereoskopische Betrachtungsmethode vorgeschlagen, die nur für Diapositive in Frage kommt. Er wollte gewissermaßen die Insektenaugen nachbilden und führte das in der Weise aus, daß er ein Mosaik von sehr vielen kleinen Linsen (von etwa der Größe der früher auf den Jahrmärkten viel verkauften in Federhaltern und dgl. angebrachten Stanhope-Lupen) zusammenstellte. Auf der gemeinschaftlichen Bildebene dieser Linsen wurde das Objekt photographisch abgebildet, und zwar durch zwei Blenden hindurch, die an die Orte gebracht waren, die später die beobachtenden Augen einnehmen sollten. Diese Photographie als Diapositiv hergestellt, muß dann natürlich bei richtiger Betrachtung das räumliche Bild wieder darstellen. Die Ausführung scheiterte begreiflicherweise an der reichlich komplizierten und kostspieligen Herstellung. Sie wurde vereinfacht von Hess in Zürich, der Zylinderlinsen verwendete, die auf eine Zelluloidfolie in Form von senkrechten Streifen aufgepreßt wurden. Solche Bilder waren vor dem Kriege käuflich zu erwerben, scheinen aber jetzt nicht mehr hergestellt zu werden.

Versuche, stereoskopische Bilder zu projizieren, sind auch wiederholt gemacht worden. Hierfür kommen theoretisch nur drei Methoden in Frage, nämlich diejenige der Anaglyphen, der intermittierenden Beleuchtung und des polarisierten Lichtes. In der Praxis dürfte wohl nur die erste Methode Aussicht auf Erfolg haben. Die Anaglyphen liefern sehr gute plastische Bilder, aber selbstverständlich wird der streng natürliche Eindruck nur von einem einzigen Betrachtungsort aus gewonnen werden können, jedoch wird er auch noch nicht zu ungünstig für eine nicht zu kleine Zahl von Beobachtern. Vor einiger Zeit wurden auf verschiedenen Varietébühnen nach dieser Methode Schattenbilder aufgeführt, die einen sehr günstigen Eindruck machten. Der Vorgang war der, daß auf einen durchscheinenden Schirm von hinten her die Schatten von tanzenden Personen von einer roten und einer grünen Lichtquelle geworfen wurden. Die auf dem Schirm sichtbaren grün bzw. rot umrandeten Schattenbilder wurden vom Publikum durch die roten und grünen Brillen betrachtet. Der Eindruck war so, als wenn die Personen vor der Leinwand, ja sogar auf den Köpfen des in den vorderen Reihen sitzenden Publikums tanzten. Natürlich könnte man auch diese Schattenbilder kinematographisch photographieren und projizieren.

Wenn nur schöne naturgetreue Bilder gewünscht werden, so wird man die beiden früher aufgestellten Bedingungen (Objektivbrennweiten gleich Brennweiten der Betrachtungslupen, Objektivabstand gleich Augenabstand) wenigstens annähernd erfüllen. In diesem Falle lassen sich tatsächlich sehr schöne Wirkungen erzielen. Dies gilt nicht nur für Landschaften mit großen Entfernungsunterschieden, bei denen unter Umständen die Gliederung des Terrains überhaupt nur auf diesem Wege sichtbar gemacht werden kann, sondern auch für Gruppenaufnahmen von Menschen und auch sogar für Aufnahmen von Einzelpersonen, die einen viel lebenswahreren Eindruck machen als Einzelaufnahmen. Der Unterschied zwischen Stereoskop- und Einzelaufnahme tritt besonders auffällig hervor, wenn man bei der Betrachtung zuerst das eine Teilbild abdeckt, so daß man nur mit einem Auge sieht, wie bei einer gewöhnlichen Photographie und dann das zweite Bild freigibt. Auch die stereoskopische Wiedergabe von Apparaten, Maschinen und dgl. wirkt infolge des räumlichen Eindrucks viel instruktiver und klarer als eine Einzelaufnahme.

Wenn man den Umstand berücksichtigt, daß der Mensch von der Natur zwei Augen bekommen hat und diese beiden Augen im gewöhnlichen Leben auch benutzt, so ist der Standpunkt der holländischen Regierung, die von dem Erfinder des sogenannten holländischen Fernrohres (Lipperhey) verlangte, daß er dies für den zweiäugigen Gebrauch als Doppelfernrohr herstellte, durchaus begreiflich. Weniger begreiflich ist es, daß nach dem großen Aufschwung, den das stereoskopische Sehen in der Mitte des vorigen Jahrhunderts genommen hat, ein vollkommener Niedergang erfolgt ist, der auch jetzt noch nicht ganz überwunden ist trotz der Einführung der Prismen-Doppelfernrohre und der großen wissenschaftlichen Erfolge, welche die Stereoskopie vor allen Dingen in der Photogrammetrie und den verwandten Gebieten erzielt hat. Es wäre sehr zu begrüßen, wenn die Herstellung der stereoskopischen Bilder bei Amateuren und auch in der Technik viel mehr Aufnahme fände. Neuerdings kommt es schon vereinzelt vor, daß in Katalogen von Instrumenten, besonders geodätischen, Stereoskopbilder enthalten sind (Firma Hildebrand, Freiberg). Der Aufnahmeapparat muß entweder eine Doppelkamera sein, so daß beide Aufnahmen gleichzeitig gemacht werden können, was bei bewegten Objekten unbedingt erforderlich ist; oder die beiden Aufnahmen müssen nacheinander von verschiedenen Standpunkten aus gemacht werden. Wenn beide Aufnahmen mit einer Doppelkamera auf eine Platte gemacht werden, so müssen die Bilder für die Betrachtung im Stereoskop auseinander geschnitten und vertauscht werden, damit der richtige stereoskopische und nicht ein pseudoskopischer Eindruck entsteht.

Wenn eine sehr genaue Betrachtung des Objektes gewünscht wird, so wird zur Unterstützung der Augen sowohl die Vergrößerung, als auch die Plastik, also insgesamt die totale Plastik gesteigert. Zum Beispiel sind im Kriege Geländeaufnahmen vom Flugzeug aus mit sehr großer Basis aufgenommen, indem der Flieger die Belichtungen zeitlich nacheinander vornahm, so daß die in der Zwischenzeit durchflogene Strecke als Aufnahmebasis diente. Ganz gewaltige Steigerungen des stereoskopischen Effektes erreichte Prof. Max Wolf in Heidelberg, indem er den Sternenhimmel zu verschiedenen Zeiten aufnahm, und so die von der Erde auf ihrer Bahn zurückgelegte Strecke als Basis benutzte, so daß auf diese Weise der Entfernungsunterschied der Planeten gegenüber den Fixsternen und die runde Gestalt des Mondes sehr deutlich sichtbar gemacht wurden.

Für Meßzwecke wird natürlich immer eine Steigerung der totalen Plastik zur Erzielung einer möglichst großen Genauigkeit angewandt. So hat z. B. die Firma Goerz in Berlin-Friedenau Instrumente geliefert, mit Hilfe derer die Flugbahn von Geschossen aufgenommen wird. Durch zwei Apparate, die in einem gewissen gegenseitigen Abstand unter der Flugbahn, senkrecht zu dieser aufgestellt waren, macht man stereoskopische Aufnahmen in verschiedenen Abständen vom Geschütz, so daß man beliebig viele Punkte der Flugbahn erhält. Das Geschoß ist mit einem Leuchtzünder versehen. Die zusammengehörigen Bilder können einzeln oder stereoskopisch ausgemessen werden. Auch für topographische Zwecke wird die Stereophotographie seit langer Zeit benutzt, und zwar nicht nur durch Aufnahmen von der Erde aus, sondern neuerdings auch durch Aufnahmen vom Flugzeug aus. Apparate hierfür liefern die Firmen Zeiß nach Angaben von Orel und Heyde nach Angaben von Prof. Hugershof; neuerdings ist auch die Firma Goerz in Berlin-Friedenau damit beschäftigt, nach Angaben des Kapitäns a. D. Boykow, dessen Verfahren besondere Vorteile verspricht, solche Instrumente zu konstruieren und auszuführen.

Bei den Doppelfernrohren wird gewissermaßen die Wirkung des Aufnahmeapparates und des Stereoskopes kombiniert. Das in der Bildebene des Fernrohres von den Objektiven entworfene Doppelbild wird nicht erst durch den photographisch-chemischen Prozeß fixiert und in einem besonderen Apparat (Stereoskop) betrachtet, sondern es wird direkt durch die Okulare beobachtet. Freilich kann man in diesem Fall das Bild nur so lange betrachten, wie es sich vor dem Instrument befindet, während man bei der stereoskopischen Photographie Bilder erhält, welche beliebig oft unabhängig von Zeit und Ort beobachtet oder ausgemessen werden können. Will man auch noch die spezifische Plastik der Fernrohrbilder steigern, so geschieht dies durch Einschalten eines Helmholtzschen Telestereoskopes. Auf diese Weise erhält man natürlich ein wesentlich gesteigertes Entfernungsunterscheidungsvermögen, das freilich kein naturgetreues Bild des Objektes gibt, sondern eine Kulissenwirkung aufweist. Für die meisten Zwecke ist dies unschädlich und die Steigerung der totalen Plastik wertvoll. Im Theater dagegen ist es nicht sehr angenehm, die schon vorhandenen Kulissen noch mit gesteigerter Deutlichkeit wahrnehmen zu können, daher werden für diese Zwecke auch Doppelfernrohre mit verringerter spezifischer Plastik hergestellt, bei denen also der Abstand der Objektive kleiner ist als der Okularabstand.

Stereoskopische Fernrohre mit gesteigerter totaler Plastik werden, seitdem die Fabrikation

der von Porro vor ca. 70 Jahren erfundenen Prismenfernrohre wieder aufgenommen worden ist, in großen Mengen für die bessere räumliche Beobachtung verwendet. Die größten Abnehmer für solche Instrumente sind die militärischen Behörden, die nicht nur kleine Handfernrohre, bei denen der Objektivabstand, also die spezifische Plastik, nur um etwa 80 bis 100 Proz. gesteigert ist, sondern auch Doppelfernrohre mit ganz erheblich gesteigerter spezifischer Plastik verwenden. Diese letzteren Fernrohre sind entweder so eingerichtet, daß sie für den Transport und für die Beobachtung hinter Deckungen zusammengeklappt werden können (Scherenfernrohre) oder sie sind besonders bei größerer Länge in starrer Form (Stangenfernrohre) ausgeführt. Die Scherenfernrohre haben eine Basis bis zu 250 mm, so daß sich eine spezifische Plastik von 38 ergibt. Bei Stangenfernrohren ist die Basis schon bis zu $3^1/_2$ m gesteigert, so daß die spezifische Plastik bis zu ca. 540 erhöht wird.

Die Stangenfernrohre sind auch so ausgebildet worden, daß sie zu Meßzwecken verwendet werden können, also als stereoskopische Entfernungsmesser (H. de Grousilliers, A. Miethe, Abbe, Pulfrich). Zu diesem Zweck werden in den beiden Bildebenen Meßmarken angebracht. Man unterscheidet zwei Arten von stereoskopischen Entfernungsmessern, und zwar solche mit fester Skala und solche mit wandernder Marke. Bei Benutzung der festen Skala ist überhaupt kein Einstellungsmechanismus erforderlich, sondern in den beiden Gesichtsfeldern ist eine große Anzahl von Meßmarken angebracht, die paarweise einander so zugeordnet sind, daß sie im Raumbild in verschiedenen bekannten Entfernungen zu liegen scheinen. Mit diesen Raummarken wird bei der Messung das räumliche Zielbild verglichen und so die Entfernung festgestellt. — Bei der wandernden Marke wird nur eine Meßmarke (evtl. zur Steigerung des räumlichen Effektes in Begleitung von einigen in anderen Entfernungen liegenden Nebenmarken) benutzt. Die scheinbare Entfernung dieser Meßmarke wird mit der scheinbaren Entfernung des Zieles verglichen und in Übereinstimmung gebracht. Die hierzu nötige Verstellung einer besonderen Vorrichtung dient zugleich als Maß für die zu messende Entfernung. Zu diesem Zweck muß die parallaktische Verschiebung der beiden Teilbilder des Zieles, gleich derjenigen der beiden Markenteilbilder gemacht werden. (Vgl. Gleichung 5, Seite 337). Ob man zu diesem Zweck die Parallaxe des Zieles oder diejenige der Marke verändert, ist im Prinzip gleichgültig. Ausgeführt sind beide Hilfsmittel, benutzt wird in der letzten Zeit fast ausschließlich die Verschiebung des einen Teilbildes des Zieles. In diesem Fall wandert also nicht die Marke, sondern das Landschaftsbild in der Tiefenrichtung. Trotzdem hat der Beobachter, wenn er nach feststehenden Objekten mißt, den Eindruck, als ob die Marke wandert, weil sich der umgekehrte Vorgang zu schwer mit dem natürlichen Menschenverstand vereinigen läßt.

Die häufigere Benutzung von stereoskopischen Entfernungsmessern macht deswegen Schwierigkeiten, weil es merkwürdigerweise viele Menschen gibt, die nicht, oder wenigstens nicht genügend gut, stereoskopisch sehen können. Dieses ist besonders störend für die Verwendung des Instrumentes für militärische Zwecke. Für wissenschaftliche oder technische Messungen können jederzeit ohne Schwierigkeit die geeigneten Meßleute ausgesucht werden. Für manche Zwecke ist überhaupt der stereoskopische Entfernungsmesser der einzige, der eine genügende Genauigkeit gibt, z. B. zum Messen von Wolkenhöhen. So wenig scharf definierte Objekte wie die Wolken lassen sich mit einem anderen Instrument bei weitem nicht mit so großer Genauigkeit messen.

Auch für die Mikroskopie wird das stereoskopische Sehen benutzt. Bei kleinen Vergrößerungen werden zwei getrennte Mikroskope, die in diesem Fall schräge zueinander gestellt sind, so daß die Achsen entsprechend dem natürlichen Sehen auf denselben nahen Objektpunkt gerichtet sind, verwendet. Bei starken Vergrößerungen, bei denen die beiden Mikroskope sich gegenseitig stören würden, wird nur ein Objektiv benutzt, dessen Strahlenbündel auf optischem Wege in zwei Okulare geleitet werden. Auch in diesem Falle sind die Achsen der austretenden Strahlenbündel gegeneinander geneigt, und zwar so wie es die Augen sind, wenn sie auf ein, in der deutlichen Sehweite liegendes Objekt (250 mm) gerichtet sind. Trotz der sehr kleinen Basis (Abstand der Mikroskopobjektive, bzw. der beiden Hälften des Objektives) erhält man einen räumlichen Eindruck des Objektes, der für die Beobachtung sehr wertvoll ist.

Eine sehr eigenartige Anwendung des binokularen Sehens hat neuerdings C. Pulfrich (Firma Zeiß) vorgeschlagen und ausgearbeitet. Wenn die beiden Teilbilder aus irgendeinem Grunde ungleiche Helligkeiten haben und schnell vor den Augen hin und her bewegt werden, dann ändert das Raumbild seine scheinbare Entfernung, auch wenn die gegenseitige parallaktische Verschiebung der beiden Teilbilder unverändert bleibt. Dieses liegt daran, daß die Schnelligkeit, mit der jedes Teilbild dem Gehirn übermittelt wird, von der Helligkeit abhängt.

Infolgedessen kann bei bewegten Stereoskopbildern der Wert der parallaktischen Verschiebung verändert erscheinen. Diese experimentell festgestellte Tatsache hat Pulfrich für photometrische Messungen nutzbar gemacht. Die Helligkeit der beiden Teilbilder wird bei der photometrischen Messung so reguliert, daß das Raumbild in unveränderlicher Entfernung erscheint, wenn die Teilbilder in dem Betrachtungsapparat gleichzeitig hin und her bewegt werden. Hiermit lassen sich also auch verschiedenfarbige Lichtquellen miteinander vergleichen, was bisher immer die größten Schwierigkeiten machte.

Literaturverzeichnis.

1) W. Berndt, Das Stereoskop als Hilfsmittel der Biontologie. Naturw. Wochenschr. **9**, 1—10, 1910.
2) A. Byk, Über G. Lippmanns Reliefphotographie. Phys. Zeitschr. **10**, 326—27, 1909.
3) S. Czapski, Über neue Arten von Fernrohren, insbesondere für den Handgebrauch. Verh. d. Ver. z. Bef. d. Gewerbefleißes 1895, S. 39—76.
4) P. H. Eykman, Stereoröntgenographie. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **13**, 355—91, 1909.
5) —, Die Symphanometrie in der Parallaxaufnahme. Zeitschr. f. wiss. Photogr. **9**, 195, 1911.
6) —, Der Symphanator. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **19**, 155, 1912.
7) Alexander Gleichen, Über die Messung des stereoskopischen Sehvermögens. D. Mech. **14**, 231—34, 1906.
8) —, Die Grundgesetze der naturgetreuen photographischen Abbildung. W. Knapp. Halle 1910.
9) Otto v. Gruber, Der Stereophanograph der Firma Carl Zeiß in Jena. Zeitschr. f. Instr. **43**, 1—17, 1923.
10) A. Hasselwander, Beiträge zur Methodik der Röntgenographie. Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **24**, 345—68, 580—91, 1916/17.
11) Th. Hartwig, Das Stereoskop und seine Anwendungen. B. G. Teubner. Leipzig 1907.
12) L. Heine, Über stereoskopische Messung. v. Graefes Arch. f. Ophthalm. **55**, 285, 1903.
13) E. Hering, Vom binokularen Tiefensehen. W. Engelmann. Leipzig 1865.
14) R. Heß, Direkt wirkende Stereoskopbilder. Zeitschr. f. wiss. Photogr. **14**, 33—38, 1914.
15) Franz Bruno Hoffmann, Die Lehre vom Raumsinn des Auges. Springer. Berlin 1920.
16) Andreas von Huberth, Stereophotogrammetrische Aufnahmen der Geschoßflugbahn. Art. Monatsh. 1915, S. 60—69.
17) R. Hugershoff u. H. Cranz, Grundlagen der Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen. K. Wittwer. Stuttgart 1919.
18) Fr. E. Ives, The parallax stereogram. Phot. Journ. **42**, 204—5, 1902.
19) O. Körner, Raumbilder von optischen Geräten. Centr. Ztg. f. Opt. u. Mech. **45**, 221, 1924.
20) F. F. Krusius, Über zweiäugig und einäugig erzeugte Tiefeneindrücke und über Verwertung einäugig gewonnener Tiefeneindrücke zu einer vergleichenden Entfernungsmessung. Arch. f. Augenheilkunde. **62**, 340, 1909.
21) F. Paul Liesegang, Über die Anwendung zeitlich verschiedener Aufnahmen bewegter Szenen als Teilbilder für das Stereoskop. Centr. Ztg. f. Opt. u. Mech. **39**, 306—8, 1918.
22) G. Lippmann, Über seine direkt wirkenden Stereoskopbilder. D. photogr. Ind. 1908, S. 314, 432—33.
23) E. Mach, Wozu hat der Mensch zwei Augen? J. A. Barth. Leipzig 1903.
24) C. Pulfrich, Über die von der Firma C. Zeiß in Jena hergestellten stereoskopischen Entfernungsmesser. Phys. Zeitschr. **1**, 98—104, 1899.
25) —, Über einige stereoskopische Versuche. Zeitschr. f. Instr. **21**, 221, 1901.
26) —, Über eine Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen. Zeitschr. f. Instr. **21**, 249—60, 1901.
27) —, Stereoskopisches Sehen und Messen. G. Fischer. Jena 1911.
28) —, Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. D. Naturw. **10**, 553—564, 596—601, 714—22, 735—43, 751—61, 1922.
29) —, Das Stereo-Spektral-Photometer. Zeitschr. f. Instr. **42**, 56—57, 1922.
30) —, Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie. J. Springer. Berlin 1923.
31) M. v. Rohr, Die Theorie des Doppelveranten, eines Instrumentes zur korrekten Betrachtung von Stereogrammen und Paaren identischer Bilder. Zeitschr. f. wiss. Phot. **2**, 9—10, 1904.
32) —, Abhandlungen zur Geschichte des Stereoskopes. W. Engelmann. Leipzig 1908.
33) —, Über die Würdigung des Augendrehpunktes und seine Berücksichtigung in der konstruktiven Optik. Zeitschr. f. Instr. **31**, 380—86, 1911.
34) —, Die binokularen Instrumente. J. Springer. Berlin 1920.
35) H. Schulz, Das Sehen. Eine Einführung in die physiologische Optik. F. Enke. Stuttgart 1920.
36) Paul Seliger, Die stereoskopische Meßmethode in der Praxis. J. Springer. Berlin 1911.
37) F. Stolze, Die Stereoskopie und das Stereoskop in Theorie und Praxis. Neu bearbeitet von J. Rheden. W. Knapp. Halle 1923.
38) W. Trendelenburg, Stereoskopische Raummessung an Röntgenaufnahmen. J. Springer. Berlin 1917.

(Eingegangen 18. März 1925.)

BESPRECHUNGEN.

J. Wiesent, Die Elektrizität auf Grund der jüngsten Forschungsergebnisse. Gr. 8°. VIII u. 194 S. mit 167 Abbildungen. Stuttgart, F. Enke. 1924. Geh. M. 4.—.

Dieses kleine Lehrbuch stellt insofern etwas Neuartiges dar, als die Frage nach dem Wesen der Elektrizität hier ganz im Vordergrund steht und nicht wie in herkömmlichen Lehrbüchern anhangsweise erörtert wird. Soweit es die gemeinverständliche Fassung des Ganzen zuläßt, werden dem Leser auf Grund der modernen Forschungsergebnisse der Elektronenphysik alle wichtigen Erscheinungen der Elektrizitätslehre gedeutet.

Gleich als Einleitung erörtert der Verf. Elektrolyse, Elektrizitätsdurchgang durch Gase und metallische Leiter. Es folgt die Elektrostatik mit gebührender Berücksichtigung der häufig in Lehrbüchern nebensächlich behandelten Erscheinungen wie Pyro-, Piezo-, Kontaktelektrizität, Johnson-Rahbeck-Phänomen. Dann

wird das Gebiet der strömenden Elektrizität betrachtet, bemerkenswerterweise findet man hier auch Paragraphen über Endosmose und Kataphorese. Zum Schluß folgen Kapitel über Radioaktivität, Röntgenspektroskopie, Atombau und Quantentheorie, Elektro- und Magnetooptik und Photoelektrizität. Als Anhang ist eine Übersicht über einige wichtige Meßmethoden angegliedert.

Das Büchlein wird besonders dem Anfänger, der jedoch schon mit den Grundbegriffen der Physik vertraut ist, ein tieferes Eindringen in die Elektrizitätslehre vermitteln. O. Klemperer.

H. Zlamal, Das Verhältnis der Einsteinschen Relativitätstheorie zur exakten Naturforschung. 1. Heft: Die phänomenalistische und die sophistische Auffassung und Bedeutung der Relativitätstheorie. Gr. 8°. VIII u. 49 S. Mit Fig. Wien und Leipzig, W. Braumüller. 1924. M. 3.50.

Was der Verfasser unter metaphysischem, mathematisch-physischem und psychologischem Phänomenalismus versteht, ist mir nicht ganz klar geworden. Seine Auffassung der speziellen Relativitätstheorie (auf sie allein bezieht sich dieses Heft) läßt sich aber auch ohne diese Begriffe sagen und beurteilen. Er deutet die relative Gleichzeitigkeit als subjektive Gleichzeitigkeit, indem er definiert, daß zwei Ereignisse subjektiv gleichzeitig sind, wenn die von ihnen ausgehenden Lichtstrahlen absolut gleichzeitig in unser Auge eintreffen bzw. ins Bewußtsein gelangen. Wenn sich nun eine Uhr vom Beobachter entfernt, so treffen ihre Strahlen immer später ein und die Uhr geht scheinbar immer mehr nach. Entsprechend wird die Verkürzung der Länge aufgefaßt.

Der Verfasser hat nicht gesehen, daß diese Deutungen im Widerspruch zur Lorentz-Transformation stehen. Nach der Lorentz-Transformation sind z. B. in dem bewegten System alle Uhren in derselben, zur Bewegungsrichtung senkrechten Ebene synchron. Nach dem Verfasser sind aber nur solche Uhren derselben Ebene synchron, die auf demselben Kreise um den Punkt liegen, wo die in die Bewegungsrichtung fallende Achse des Beobachters diese Ebene schneidet. Nach der Lorentz-Transformation hat die Längenverkürzung ein Maximum, wenn die Länge sich senkrecht zur Sehrichtung bewegt, und ist Null, wenn sie in der Sehrichtung liegt. Nach dem Verfasser ist es gerade umgekehrt.

Daß seine Deutungen im Grunde gar nichts mit Erkenntnistheorie, Metaphysik und Psychologie zu tun haben, ist dem Verfasser ebenfalls entgangen.

Aloys Müller.

Personalien.

(Der Herausgeber bittet die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Ernannt: Der a. o. Professor der Chemie an der Universität Erlangen Dr. Ferdinand Henrich zum ord. Professor der Chemie ebenda, der ord. Professor der Mathematik an der Universität Leipzig Dr. Gustav Herglotz in gleicher Eigenschaft an der Universität Göttingen, der Professor an der Maschinenbauschule in Eßlingen Dr. Ing. Paul Werkmeister zum ord. Professor für Geodäsie an der Technischen Hochschule Dresden (als Nachfolger des in den Ruhestand getretenen Geh. Hofrat Professor Bernhard Pattenhausen), der Privatdozent an der Universität Berlin und Hauptobservator am Astrophysikalischen Observatorium in Potsdam Dr. Arnold Kohlschütter zum nichtbeamteten a. o. Professor für Astronomie an derselben Universität, der a. o. Professor an der Universität Graz Dr. Viktor F. Heß zum ord. Professor für Experimentalphysik an derselben Universität, der ass. Professor der Chemie an der Universität von North Dakota H. C. Trimble zum ass. Professor der Biochemie an der Harvard Medical School.

Berufen: Der ord. Professor an der Universität Freiburg Dr. Heinrich Wieland zum ord. Professor für Chemie an der Universität München, der a. o. Professor der Chemie an der Universität München Dr. Kasimir Fajans zum ord. Professor und Direktor des Instituts für physikalische Chemie an der Universität Freiburg in Baden (als Nachfolger von Professor Dr. Georg Meyer).

Vom Lehramt zurück: Der ord. Professor für technische Physik und Ballistik an der Technischen Hochschule Berlin Geh. Regierungsrat Dr. Carl Cranz.

Ehrung: Professor Dr. Kasimir Fajans zum korrespondierenden Mitglied der Russischen Akademie der Wissenschaften.

Gestorben: Der frühere ord. Professor der Mathematik an der Universität Leipzig Geheimer Rat Dr. Carl Neumann.

Angebote.

Physiker

mit abgeschlossener Hochschulbildung und Erfahrung auf dem Gebiet der Hochfrequenztechnik für sofort als Assistent gesucht:

Städt. Friedrichs-Polytechnikum Cöthen in Anhalt

Gesuche.

Promovierter Physiker

sucht passende Stellung in der Industrie.

Angebote unter **S. H. 635** an den Verlag der Physikalischen Zeitschrift ⟨S. Hirzel⟩ in Leipzig, Königstraße 2.

Für die Schriftleitung verantwortlich Prof. Dr. F. Harms in Würzburg. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.

MAX KOHL A.G.

Physikalische Apparate

Demonstrations - Rundfunk - Empfangs - Apparate
Oelluftpumpen und Gebläse
Längen- und Kreisteilmaschinen
Komparatoren ✳ Funkeninduktoren
Megadiaskope ✳ Verdunkelungen
Experimentier-Schalttafeln
Laboratorienmöbel

Max Kohl A.-G. Chemnitz 4

Gründungsjahr 1876

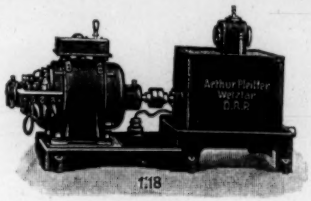
Der Kauf von physikalischen Apparaten ist Vertrauenssache!

Pfeiffer's

Quecksilber-Dampfstrahlpumpe
ganz aus Stahl D. R. P. angem.

15 Liter bis zum Aussetzen jeder Entladung in 10 Sek. vom Vorvakuum ab.
Listen von Abt. H anfordern.

Vgl. Techn. Physik, 1922, Heft 12. Phys. Zschr. 1922, pag. 463.

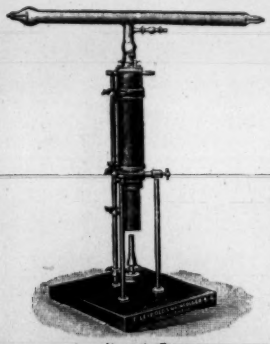


Rotierende Öl-Luftpumpe D.R.P.

Hochvakuum-Pumpen, Vakua bis $^1/_{1\,000\,000}$ mm Hg.
Saugleistung bis 120 cbm per Stunde
Photometer aller Systeme
Öl-Prüfapparate, Schnellviskosimeter usw.
Funken-Induktoren bis 1000 mm Funkenlänge
Oscillographen

Arthur Pfeiffer
Wetzlar 8
Telegr. Vakupfeif. — Tel. 85 u. 86.

Neue Hochvakuum-Diffusions-Pumpe aus Metall
nach Prof. Gaede
D.R.P. und Auslandspatente



$^1/_{10}$ nat. Gr.

Saugleistung: 15 Liter per Sek.
Vorvakuum: 20 mm
„Vergl. Zeitschrift für Technische Physik, Jahrg. 1923, Nr. 10"

Alleinige Hersteller

E. Leybold's Nachfolger A.-G.
Köln a/Rhein, Brüderstr. 7

Sonderliste auf Wunsch

Für den Anzeigenteil verantwortlich S. Hirzel in Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.